

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství**

**Analýza intraorálních snímků zhotovených  
pravoúhlou technikou a technikou půleného úhlu**

**Analysis of Intraoral Radiography Images by  
Parallel Technique and Bisecting Angle Technique**

## Zadání bakalářské práce

Student: **Silvie Kovalová**

Studijní program: B2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 3901R039 Biomedicínský technik

Téma: **Analýza intraorálních snímků zhotovených pravoúhlou technikou  
a technikou půleného úhlu  
Analysis of Intraoral Radiography Images by Parallel Technique  
and Bisecting Angle Technique**

Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

Cílem bakalářské práce je analyzovat intraorální snímky provedené dvěma různými technikami snímkování; pravoúhlá technika (tj. film je upevněn v držáku spojeným tubusem - centrální paprsek míří do středu filmu). Výsledný obraz je ostrý, minimálně zkreslený a nejlépe odpovídá skutečnosti. Snímek zachycuje tvrdé zubní struktury celého zubu, kosti alveolárního výběžku a periapikální tkáň včetně informací o marginální oblasti. Druhá technika je technika půleného úhlu (tj. technika dle Cieszynského izometrického pravidla). Technika půleného úhlu je jednoduchá snímkovácí metoda, umožňuje zhotovit diagnostické snímky vysoké kvality. Principem je intraorální přiložení filmu bezprostředně k vyšetřované skupině zubů, kdy se osa filmu nepřekrývá s podélnou osou snímaných zubů a je potřeba upravit sklon svazku paprsků. Obě tyto techniky jsou nezbytné zejména pro zachovné zubní lékařství, v endodontické diagnostice a terapii, při poranění zubů a alveolárních výběžcích a v oblasti parodontologie.

Výsledek práce umožní redukci několika problémových skutečností, zejména u snímků provedených technikou půleného úhlu (např. nepravidelné deformity dané horním patrem, diskrepance ve velikosti obrazu, horší čitelnost struktur v oblasti apexů horních molárů). Snahou je optimalizovat částečné izometrie a hypermetrie tak, aby bylo ideálně dosaženo izometrického ortoradiálního snímku.

### Body zadání:

1. Literární a softwarová rešerše k zadané problematice.
2. Anatomie a morfologie zubu.
3. Klasifikace rentgenových přístrojů ve stomatologii. Radiační ochrana v zubním lékařství.
4. Fyzikální principy rentgenového záření.
5. Radiologické lokalizační metody. Intraorální snímkovácí techniky se zaměřením na techniku půleného úhlu a pravoúhlou snímkovací techniku.
6. Návrh, realizace a implementace algoritmizační struktury analytických funkcí pro obrazovou analýzu.
7. Testování a validace programového prostředí na klinických datech.
8. Zhodnocení dosažených výsledků a přínos pro stomatologickou praxi.

### Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] GONZALEZ, Rafael C. a Richard E. WOODS. *Digital image processing*. 3rd ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, c2008. ISBN 978-0-13-168728-8.
- [2] LANGLAND, Olaf, Robert P. LANGLAIS a John W. PREECE. *Principles of Dental Imaging*. Ilustrované vydání. Lippincott Williams & Wilkins, 2002, 459 s. ISBN 978-0781729659.
- [3] MAZÁNEK, Jiří. *Zubní lékařství: propedeutika*. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-8024735344.

- [4] MAZÁNEK, Jiří. *Zubní lékařství: pro studující nestomatologických oborů*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-802-4758-077.
- [5] RUSS, John C. *The image processing handbook*. 6th ed. Boca Raton: CRC Press, 2011. ISBN 978-1439840450.
- [6] WEBER, Thomas. *Memorix zubního lékařství*. Praha: Grada, 2006. ISBN 978-802-4710-174.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Iveta Bryjová**

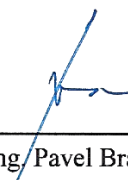
Konzultant bakalářské práce: MDDr. Stanislav Aue  
Ing. Jan Kubiček, Ph.D.

Datum zadání: 01.09.2019

Datum odevzdání: 30.04.2020



doc. Ing. Jiří Koziolek, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.  
děkan fakulty

## **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

Ostrava 15. května 2020

Handwritten signature in blue ink, reading "Koralová".

---

Podpis studenta

## **Poděkování**

Na tomto místě bych ráda poděkovala mé vedoucí bakalářské práce paní Ing. Ivetě Bryjové za její pomoc, poskytnuté rady, informace a také čas, který mi věnovala při zpracování tohoto tématu. Dále bych ráda poděkovala panu Ing. Janu Kubíčkovi, Ph.D., MDDr. Tomášovi Buchtovi a MDDr. Stanislavu Auemu za jejich odborné rady k dané problematice.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá analýzou intraorálních snímků zhotovených pravoúhlou technikou a technikou půleného úhlu. Pro analýzu snímků bylo vytvořeno grafické uživatelské rozhraní. Grafické uživatelské rozhraní umožňuje načíst dva snímky, jejich obrazové předzpracování a postprocessing. Ve výsledku dojde například k redukci čitelnosti struktur v oblasti apexů. Uživatel získá informaci o změně velikosti snímkaného zubu na jednotlivých snímcích zhotovených dvěma technikami, obzvláště při měření kanálku zubu, což může být užitečné v stomatologické praxi pro zachovné zubní lékařství, v endodontické diagnostice, terapii a v oblasti parodontologie.

## **Klíčová slova**

Intraorální snímkovací techniky; pravoúhlá technika; technika půleného úhlu; analýza; zpracování obrazu; MATLAB; kořenový kanálek zubu; endodontické ošetření

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with analysis of intraoral radiography images by Parallel technique and Bisecting angle technique. Graphical user interface was created for analysis of radiography images. Graphical users interface enables to load two images and their image preprocessing and postprocessing. As a result, for example the legibility of structures in the area of the root apex will be increase. The user obtains informations about the change in the size of the tooth on radiography images by two techniques, especially for measuring root canal. Graphical user interface will be useful in dental practice for conservative dentistry, endodontic treatment and periodontology.

## **Keywords**

Intraoral radiographic techniques; parallel technique; bisecting angle technique; analysis; image processing; MATLAB; root canal; endodontic treatment

# OBSAH

Seznam zkratk .....	8
Seznam obrázků .....	9
Seznam tabulek .....	10
Úvod.....	11
1 Teoretická část.....	12
1.1 Literární řešerše.....	12
1.1.1 Příprava řešerše .....	12
1.1.2 Přehledová část.....	12
1.1.3 Vlastní řešerše .....	15
1.1.4 Závěr literární řešerše.....	29
1.2 Anatomie a morfologie zubů.....	30
1.2.1 Stavba zubů .....	31
1.2.2 Morfologie zubů.....	31
1.3 Rentgenová technika v zubním lékařství.....	32
1.3.1 Extraorální snímkování .....	33
1.3.2 Intraorální snímkování .....	36
1.3.3 Radiologické lokalizační metody .....	37
1.3.4 Radiační ochrana v zubním lékařství .....	37
1.4 Pravoúhlá (paralelizační) technika .....	37
1.5 Technika půleného úhlu .....	38
2 Praktická část .....	39
2.1 Návrh a realizace uživatelského rozhraní.....	39
2.1.1 Návrh uživatelského rozhraní.....	39
2.1.2 Popis aplikace.....	40
2.1.3 Realizace uživatelského rozhraní .....	40
2.2 Testování a vyhodnocení.....	49
2.3 Zhodnocení externího specialisty .....	52
3 Závěr .....	53
Literatura .....	54
Seznam příloh.....	56

## SEZNAM ZKRATEK

Zkratka	Význam
CT	Výpočetní tomografie
CBCT	Cone Beam výpočetní tomografie, výpočetní tomografie kuželovým svazkem
OPG	Ortopantomografie
RTG	Rentgen, rentgenový
Princip ALARA	As Low As Reasonable Achievable, dávka záření má být tak nízká, jak jen ji lze rozumně dosáhnout
GUIDE	Graphical User Interface Development Environment, grafické interaktivní vývojové prostředí
GUI	Graphical User Interface, grafické uživatelské prostředí
MATLAB	Matrix Laboratory
RoI	Region of Interest, oblast zájmu
CLAHE	Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization, adaptivní histogramová ekvalizace



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 Rentgenové snímky.....	16
Obr. 1.2 Umístění filmových držáků u jednotlivých technik.....	17
Obr. 1.3 Pracovní model-fantomová hlava s kompletním trvalým chrupem .....	19
Obr. 1.4 Příklady umístění externího ukazatele na obličej.....	20
Obr. 1.5 Radiografické snímky pro pravoúhlou skupinu .....	25
Obr. 1.6 Dolní čelist s 6 zavedenými implantáty .....	26
Obr. 1.7 Srovnání rentgenových snímků pořízených pravoúhlou technikou (A) a technikou půleného úhlu (B) .....	27
Obr. 1.8 Části zubu.....	30
Obr. 1.9 Zadopřední projekce lbi .....	33
Obr. 1.10 Boční projekce lbi .....	34
Obr. 1.11 Axiální projekce lbi.....	34
Obr. 1.12 Poloaxiální projekce lbi .....	35
Obr. 1.13 Pravoúhlá technika .....	37
Obr. 1.14 Technika půleného úhlu .....	38
Obr. 2.1 Blokové schéma návrhu algoritmu pro analýzu snímků .....	39
Obr. 2.2 Návrh grafického uživatelského rozhraní v programu MATLAB .....	40
Obr. 2.3 Vývojový diagram aplikace .....	41
Obr. 2.4 Zobrazení dialogového okna pro výběr snímku.....	42
Obr. 2.5 Chybové hlášení.....	42
Obr. 2.6 Výplň a měření kanálku .....	43
Obr. 2.7 Převodní charakteristika negativu .....	44
Obr. 2.8 Negativ snímku .....	45
Obr. 2.9 Původní histogram a histogram po ekvalizaci .....	45
Obr. 2.10 Ekvalizace snímků .....	46
Obr. 2.11 Převodní charakteristika gama korekce .....	46
Obr. 2.12 Gama korekce snímků.....	47
Obr. 2.13 Filtrace snímků a jejich následné zesvětlení pomocí gama korekce .....	48
Obr. 2.14 Rozdělení do segmentů .....	48
Obr. 2.15 Regionální segmentace .....	49

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1 Přehled zdrojů, ze kterých bylo čerpáno .....	12
Tab. 1.2 Přehled vybraných zdrojů podle typu dokumentu, časového, jazykového a geografického původu .....	14
Tab. 1.3 Diagnostické hodnoty pro testované radiografické techniky u 50µm mezery .....	17
Tab. 1.4 Diagnostické hodnoty pro testované radiografické techniky u 150µm mezery .....	18
Tab. 1.5 Srovnání výsledků Chí kvadrátového testu mezi jednotlivými technikami .....	20
Tab. 1.6 Subjektivní hodnocení kvality rentgenových snímků .....	21
Tab. 1.7 Rozsah subjektivní kvality pořízených snímků u obou technik .....	22
Tab. 1.8 Skupina A vs. skupina B, vzájemná shoda .....	23
Tab. 1.9 Skupina A vs. skupina B, hladina významnosti .....	23
Tab. 1.10 Měření implantátu pro všechny radiografické techniky 2 pozorovateli .....	27
Tab. 2.1 Hodnoty měření kanálku u snímků po endodontickém ošetření .....	50
Tab. 2.2 Hodnoty měření kanálku u snímků bez endodontického ošetření .....	50
Tab. 2.3 Rozdíl mezi jednotlivými technikami u skupin zubů bez a s endodontickým ošetřením .....	51

# ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá analýzou intraorálních snímků pořízených dvěma technikami snímkování, konkrétně se jedná o pravoúhlou techniku a techniku půleného úhlu. Obě tyto techniky jsou nezbytné zejména pro zachovné zubní lékařství, v endodontické diagnostice a terapii, při poranění zubů, alveolárních výběžků a v oblasti parodontologie. Snímky pořízené pravoúhlou technikou nejlépe odpovídají skutečnosti, jsou ostré a nezkrácené. Při této technice je film umístěn ve speciálním držáku spojeném s tubusem a centrální paprsek míří do středu filmu. Avšak ne vždy lze pořídit snímky pomocí pravoúhlé techniky, například kvůli anatomickým poměrům v dutině ústní anebo nedostatečnému vybavení stomatologických ordinací. Z tohoto důvodu se využívá technika půleného úhlu, kterou lze zhotovit snímky vysoké kvality dle Cieszynského pravidla. Nevýhodou při technice půleného úhlu je nefixovaná poloha filmu vůči tubusu, což způsobuje zkreslení u výsledných snímků.

Teoretická část je rozdělena na literární rešerši, která je zaměřena na porovnání intraorálních snímkových technik, obzvláště výše zmíněných, a to například při detekci mezer v zubním implantátu, zobrazení endodontické pracovní délky a zlomenin zubů. Další část se zabývá problematikou intraorálního snímkování. Součástí je popis anatomie a morfologie zubů, rentgenové techniky v zubním lékařství, principů radiační ochrany a konkrétnější popis pravoúhlé techniky a techniky půleného úhlu.

Praktická část se zabývá návrhem a testováním uživatelského rozhraní pro načtení a analýzu snímků pořízených dvěma technikami snímkování. Výsledná aplikace by měla obsahovat vhodné funkce pro srovnání snímků pořízených pravoúhlou technikou a technikou půleného úhlu, kde se předpokládá, že snímky pořízené technikou půleného úhlu budou zkresleny.

# 1 TEORETICKÁ ČÁST

Teoretická část se skládá z literární rešerše, která se bude zabývat porovnáním intraorálních technik využívajících se při snímkování zubů. V další části bude popsána anatomie a morfologie zubů, intraorální a extraorální snímkové techniky, princip radiační ochrany a bude konkrétněji popsána technika půleného úhlu a pravoúhlá technika snímkování.

## 1.1 Literární rešerše

Literární rešerše je zaměřena na intraorální rentgenové techniky, do kterých se řadí technika půleného úhlu, pravoúhlá (paralelizační) technika a paralelní technika (bitewing). Tyto techniky se využívají při snímkování zubů a jejich periimplantárních oblastí. Články v literární rešerši se budou zabývat konkrétně srovnáním techniky půleného úhlu a pravoúhlé techniky.

### 1.1.1 Příprava rešerše

#### Formulace tématu

Vyhledání studií zabývajících se srovnáním intraorálních technik při snímkování zubů, konkrétně srovnáním techniky půleného úhlu a pravoúhlé techniky.

#### Klíčová slova

(Parallel technique) **AND** (Bisecting angle technique) **OR** (Intraoral radiographic techniques)

**Časové rozmezí:** 2005–2019

**Jazykové vymezení:** Angličtina

**Typy dokumentů:** Odborné články

**EIZ:** ISI Web of Knowledge, SCOPUS, MEDLINE

### 1.1.2 Přehledová část

*Tab. 1.1 Přehled zdrojů, ze kterých bylo čerpáno*

	WoS	SCOPUS	MEDLINE
<b>Celkový počet záznamů</b>	139	13	16
<b>Vybrané záznamy k rešerši</b>	4	1	1

*Bibliografické záznamy vybraných výsledků.*

[1] DARÓS, Pollyana, Vinicius Cavalcanti CARNEIRO, Amanda Pasolini SIQUEIRA a Sergio Lins DE-AZEVEDO-VAZ. *Diagnostic accuracy of 4 intraoral radiographic techniques for misfit detection at the implant abutment joint*. The Journal of Prosthetic Dentistry [online]. 2018, 120(1), 57-64 [cit. 2019-09-30]. DOI: 10.1016/j.prosdent.2017.08.008. ISSN 00223913. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022391317305668>

- [2] AHMAD FAUZI, Azizah. *External Marker in Bisecting-Angle-Technique: A New Approach to Minimize Dental Radiographic Error*. Medicine & Health [online]. 2017, 12(2), 304-311 [cit. 2019-10-01]. DOI: 10.17576/MH.2017.1202.14. ISSN 22895728. Dostupné z: [http://www.medicineandhealthukm.com/sites/medicineandhealthukm.com/files/article/2017/14\\_azizah\\_et\\_al\\_pdf\\_11261.pdf](http://www.medicineandhealthukm.com/sites/medicineandhealthukm.com/files/article/2017/14_azizah_et_al_pdf_11261.pdf)
- [3] KAZZI, D., K. HORNER, A. C. QUALTROUGH, Y. MARTINEZ-BENEYTO a V. E. RUSHTON. *A comparative study of three periapical radiographic techniques for endodontic working length estimation*. International Endodontic Journal [online]. 2007, 40(7), 526-531 [cit. 2019-10-04]. DOI: 10.1111/j.1365-2591.2007.01251.x. ISSN 0143-2885. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2591.2007.01251.x>
- [4] SANGHVI, Shilpi, Ashwin RAO, Karuna YM, Karthik SHETTY a Anupama NAYAK. *Image Distortion of the Roots of Maxillary Deciduous Molars on IOPA's Recorded with Bisecting Angle or a Modified Paralleling Technique*. Biomedical and Pharmacology Journal [online]. 2018, 11(2), 1039-1042 [cit. 2019-10-05]. DOI: 10.13005/bpj/1464. ISSN 09746242. Dostupné z: <http://biomedpharmajournal.org/vol11no2/image-distortion-of-the-roots-of-maxillary-deciduous-molars-on-iopas-recorded-with-bisecting-angle-or-a-modified-paralleling-technique/>
- [5] IIKUBO, Masahiro, Takashi KAMIO, Naoya HASHIMOTO, et al. *Comparison of bisecting and parallel intraoral radiography and cone-beam computed tomography for detecting various horizontal angle root fractures*. Oral Radiology [online]. 2015, 31(3), 173-180 [cit. 2019-10-05]. DOI: 10.1007/s11282-015-0201-0. ISSN 0911-6028. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11282-015-0201-0>
- [6] BILHAN, Hakan, Onur GEÇKILI, Selda ARAT BILHAN, Fatih AYÇIÇEK, Berkman ALBAYRAK, Pelin BOZBULUT a Fatma ÜNALAN. *The comparison of the precision of different dental radiographic methods in mandibular peri-implantary measurements: an in vitro study*. Journal of Istanbul University Faculty of Dentistry [online]. 2015, 49(1), 1-9 [cit. 2019-10-06]. DOI: 10.17096/jiufd.55134. ISSN 2149-4592. Dostupné z: <http://eor.istanbul.edu.tr/tr/yazi/10-17096-jiufd-55134-6100590039003900690069004100410062005F0045003100>

*Tab. 1.2 Přehled vybraných zdrojů podle typu dokumentu, časového, jazykového a geografického původu*

	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
<b>Typ výsledku</b>	J <sub>imp</sub>	J <sub>imp</sub>	J	J <sub>sc</sub>	J <sub>imp</sub>	J <sub>imp</sub>
<b>EIZ</b>	WoS	WoS	MEDLINE	SCOPUS	WoS	WoS
<b>Časová lokalizace</b>	2018	2017	2007	2018	2015	2015
<b>Původní jazyk výsledku</b>	EN	EN	EN	EN	EN	EN
<b>Geografický původ</b>	Brazílie	Malajsie	UK	Indie	Japonsko	Turecko

### 1.1.3 Vlastní řešerše

#### **Diagnostic accuracy of 4 intraoral radiographic techniques for misfit detection at the implant abutment joint [1]**

**Český název:** Diagnostická přesnost 4 intraorálních rentgenových technik pro detekci nesedícího zubního implantátu

Účelem této studie bylo vyhodnotit in vitro diagnostickou přesnost 4 intraorálních rentgenových technik při detekci chyb u zubního implantátu.

Mezeru v zubním implantátu nebo špatně sedící zubní implantát je nutné detekovat, protože by takový implantát mohl ohrozit zdraví periimplantárních struktur, jako je kost a měkké tkáně. Špatným přizpůsobením implantátu může dojít k mechanickým poruchám, například k rotaci opěry, uvolnění nebo zlomení šroubu. Pro tuto studii byly navrženy zubní implantáty s přijatelnými nedostatky.

Čím větší je chyba u zubního implantátu, tím snazší je ho pomocí rentgenu detekovat. Na začátku studie byla považována standardní pravoúhlá technika za nejvhodnější pro detekci chyb. Avšak dosud nebylo provedeno dostatečné srovnání s ostatními technikami, proto účelem této studie bylo porovnat diagnostickou přesnost u intraorální techniky půleného úhlu, bitewing techniky, standardní pravoúhlé techniky a modifikované pravoúhlé techniky.

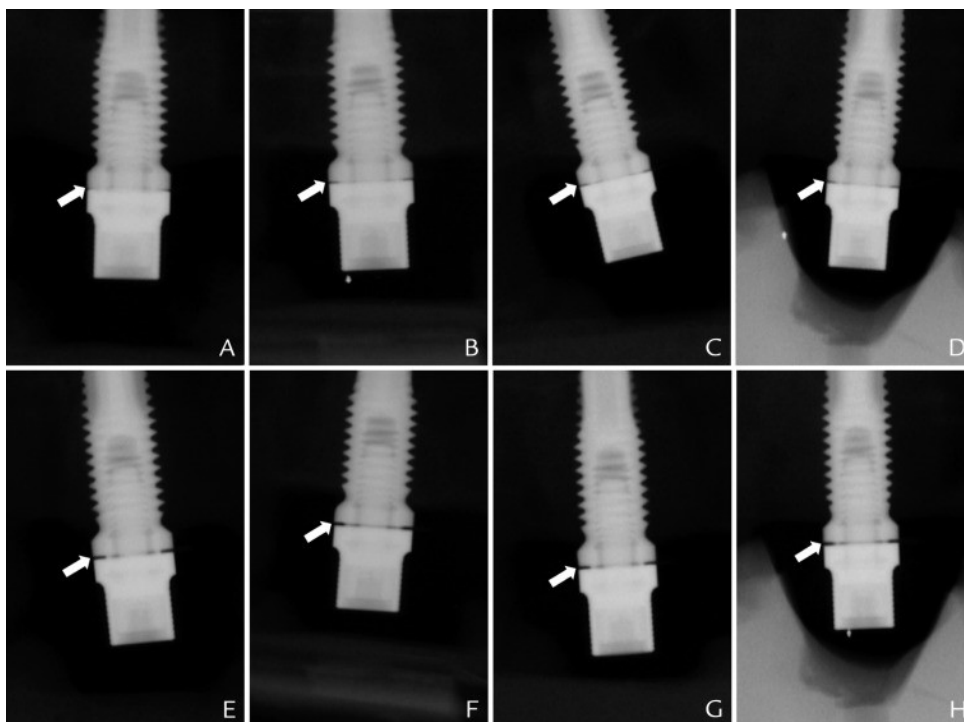
Studie byla provedena in vitro. Bylo vybráno 20 Cone Beam CT skenů dolní a horní čelisti z počítačové databáze Federální univerzity v Espírito Santo. Byli vybráni pouze pacienti s kompletním trvalým chrupem bez lézí. Vybrané snímky byly modifikovány pomocí softwaru (InVesalius 3; CTI-Renato Archer) k odstranění korunek 1. stoliček horní čelisti v pravé části. Snímky byly převedeny do programovacího jazyka STL a prostřednictvím laserového sinterování (Sinterstation HiQ; 3D Systems) byly modelovány do polyamidu. Prototypové čelisti byly upevněny na konstrukce z hliníkové oceli s pružinami pro otvírání a zavírání čelistí.

V každé čelisti byl do oblasti chybějící korunky umístěn zubní implantát o velikosti  $3,75 \times 11$  mm s vnějším šestihranem a pravidelnou platformou o průměru 4,1 mm. Opěry zubních implantátů vyrobené na zakázku měly průměr 4,1 mm a byly utaženy na 32 Ncm<sup>1</sup>. Mezery 50 a 150 µm byly simulovány umístěním 50 µm tlustých polyesterových proužků na zubní implantát. Na každém proužku byl vytvořen kruhový otvor o průměru 3 mm pro jednotný kontakt mezi platformou implantátu a opěrnou plochou. V kontrolní skupině, která byla charakterizována nepřítomností proužků, byly opěry nainstalovány přímo na platformách implantátů. Průměrná výrobní chyba při opěře byla 3,6 µm.

Na Obr. 1.1 jsou zachyceny rentgenové snímky jednotlivými technikami, A: 50µm mezera technikou půleného úhlu, B: 50µm mezera bitewing technikou, C: 50µm standardní pravoúhlou technikou, D: 50µm mezera modifikovanou pravoúhlou technikou, E: 150µm mezera technikou půleného úhlu, F: 150µm mezera bitewing technikou, G: 150µm mezera standardní pravoúhlou technikou, H: 150µm mezera modifikovanou pravoúhlou technikou.

---

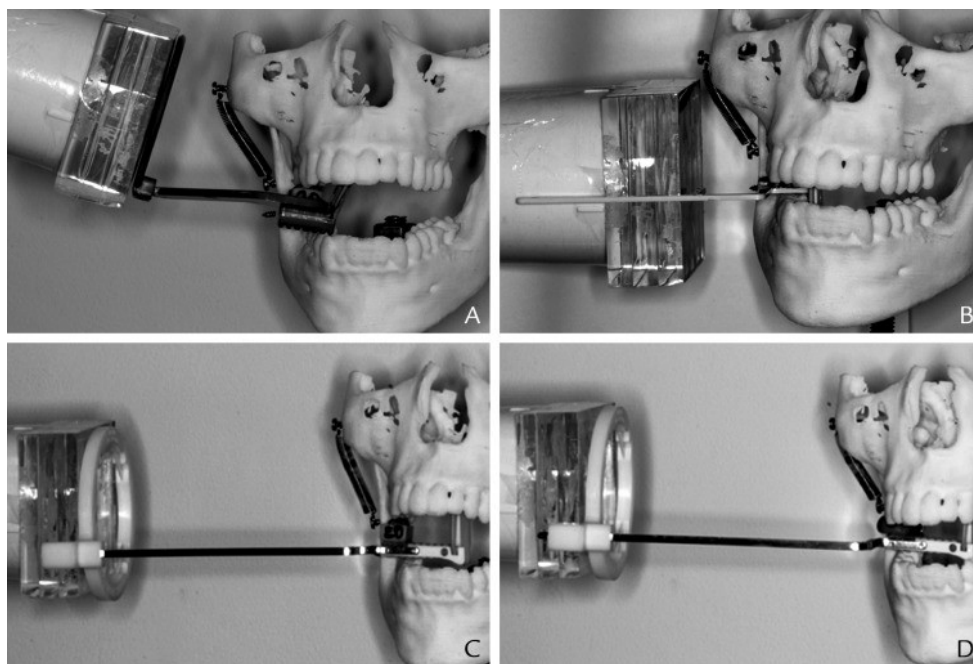
<sup>1</sup> Ncm – jednotka momentu utažení šroubu



***Obr. 1.1 Rentgenové snímky [1]***

Digitální rentgenové snímky byly vyrobeny pomocí fosforových desek (31×41 mm) provozovatelem S.L.A.V. Pro modifikovanou pravoúhlou techniku byly na míru vyrobeny filmové držáky, u ostatních technik byly použity konvenční držáky filmů. Umístění držáků filmů je vyobrazeno na Obr. 1.2, kde A: technika půleného úhlu, B: bitewing technika, C: standardní pravoúhlá technika a D: modifikovaná pravoúhlá technika. Všechny rentgenové snímky byly vytvořeny za použití stejného vybavení přednastaveného na 70 kVp a 7 mA, exponovány od 0,50 do 0,63 sekund. Mezi zdroj záření a ozářenou plochou byla umístěna deska z akrylové pryskyřice o tloušťce 30 mm, která zeslabila paprsek a simulovala tak měkké tkáně.





*Obr. 1.2 Umístění filmových držáků u jednotlivých technik [1]*

Deskriptivní analýzou byla učena citlivost, specifická, přesnost, pozitivní prediktivní hodnoty (PPH) a negativní prediktivní hodnoty (NPH). V této studii se hodnoty citlivosti vztahují ke správné identifikaci chybně sedícího implantátu, specifická se týká správné identifikace chyb. Hodnoty přesnosti představují podíl správnosti. PPH a NPH odrážejí pravděpodobnost skutečných pozitivních a negativních výsledků.

*Tab. 1.3 Diagnostické hodnoty pro testované radiografické techniky u 50 $\mu$ m mezery*

Pro 50 $\mu$ m	Technika půleného úhlu	Bitewing technika	Standardní pravoúhlá technika	Modifikovaná pravoúhlá technika
<i>Senzitivita</i>	0,38	0,68	0,66	0,65
<i>Specifičnost</i>	0,90	0,90	0,90	0,95
<i>Přesnost</i>	0,64	0,79	0,78	0,80
<i>PPH</i>	0,79	0,87	0,86	0,92
<i>NPH</i>	0,59	0,74	0,72	0,73

*Tab. 1.4 Diagnostické hodnoty pro testované radiografické techniky u 150 $\mu$ m mezery*

<b>Pro 150 <math>\mu</math>m</b>	<b>Technika půleného úhlu</b>	<b>Bitewing technika</b>	<b>Standardní pravoúhlá technika</b>	<b>Modifikovaná pravoúhlá technika</b>
<i><b>Senzitivita</b></i>	0,68	0,95	0,90	0,91
<i><b>Specifičnost</b></i>	0,90	0,90	0,90	0,95
<i><b>Přesnost</b></i>	0,79	0,92	0,90	0,93
<i><b>PPH</b></i>	0,87	0,90	0,90	0,94
<i><b>NPH</b></i>	0,74	0,94	0,90	0,91

S výjimkou specifičnosti byly všechny diagnostické hodnoty pro obě mezery nižší u techniky půleného úhlu, což naznačuje nižší diagnostickou přesnost u této techniky. U modifikované pravoúhlé techniky byly hodnoty specifičnosti, přesnosti a PPH nejvyšší, proto byla tato technika lepší pro detekci nepřítomnosti chyb a poskytovala nejvyšší podíl správných diagnóz. Bitewing technika byla nejlepší pro detekci chybně sedícího implantátu.

Nejhorší výsledky prokazovala technika půleného úhlu, která se nezdá být vhodná pro tento účel, zejména pro detekování chyb s 50 $\mu$ m mezerou. Bitewing technika, standardní a modifikovaná pravoúhlá technika prokázaly vyšší diagnostickou přesnost pro chyby s 50 $\mu$ m i 150 $\mu$ m mezerami.

## External Marker in Bisecting-Angle-Technique: A New Approach to Minimize Dental Radiographic Error [2]

**Český název:** Externí ukazatel v technice půleného úhlu: Nový přístup k minimalizaci chyb v dentální rentgenografii

Tato studie se zabývala srovnáním techniky půleného úhlu, techniky půleného úhlu s externím ukazatelem a pravoúhlé techniky pro snímkování zubů a jejich okolních struktur.

Ve stomatologii se běžně používají intraorální rentgenové snímky pro hodnocení zubů a periimplantárních oblastí. Snímky se častěji pořizují pravoúhlou technikou než technikou půleného úhlu, avšak ne vždy lze film umístit rovnoběžně s vertikální osou zubů, proto bývá technika půleného úhlu častou alternativou. V této studii byly srovnány chyby při snímkování u techniky půleného úhlu s externím ukazatelem, bez externího ukazatele a u pravoúhlé techniky.

Studie se zúčastnili 4 studenti posledního ročníku zubního lékařství. Každý z nich pořídil 60 rentgenových snímků, z toho 20 snímků každou rentgenovou technikou. Celkový počet intraorálních rentgenových snímků byl 240. Snímkování bylo provedeno na simulační fantomové hlavě s kompletním trvalým chrupem (Obr. 1.3).

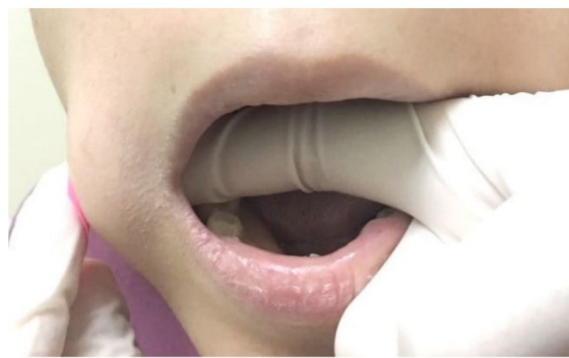


*Obr. 1.3 Pracovní model-fantomová hlava s kompletním trvalým chrupem [2]*

Pro techniku půleného úhlu s externím ukazatelem byla umístěna na vybranou oblast obličeje pacienta obdélníková nálepka jako externí ukazatel (Obr. 1.4).



(a)



(b)

**Obr. 1.4 Příklady umístění externího ukazatele na obličej [2]**

Přítomnost nebo nepřítomnost chyb byla zaznamenána u každého rentgenového snímku pořízeného jakoukoliv technikou. Pokud byla zaznamenána chyba, byl určen typ chyby. Následně se analyzovala frekvence chyb v každé technice. Při porovnání chyb u pravoúhlé techniky (PÚ), techniky půleného úhlu bez vnějšího ukazatele (TPÚ) a s vnějším ukazatelem (TPÚ-VU) byl použit Chí-kvadrát test. Výsledky testu jsou zaznamenány v Tab. 1.5.

**Tab. 1.5 Srovnání výsledků Chí kvadrátového testu mezi jednotlivými technikami**

Porovnání technik	Celkový počet chyb	P hodnota	Významný rozdíl
<b>PÚ a TPÚ</b>	PÚ: 37, TPÚ: 45	0,206	Ne
<b>PÚ a TPÚ-VU</b>	PÚ: 37, TPÚ-VU: 31	0,337	Ne
<b>TPÚ a TPÚ-VU</b>	TPÚ: 45, TPÚ-VU: 31	0,027	Ano

Nejčastější chybou ve všech technikách byly výsledky ze špatně umístěného senzoru v horizontálním nebo vertikálním směru. V této studii byl použit pouze jeden typ senzoru pro snímání předních i zadních intraorálních snímků. Obsluha musí umístit senzor na přesné místo, což může být obtížnější pro ne tolik zkušené studenty, kteří prováděli tuto studii. Z tohoto důvodu je chybné umístění senzoru nejčastější chybou.

Další chybou v TPÚ je kuželový řez. Tato chyba je způsobena nesprávným nastavením rentgenového kuželu, kde rentgenovaný zub může být mimo oblast zájmu. Použití externího ukazatele se jeví jako účinné řešení této chyby, protože v TPÚ-VU se množství těchto chyb výrazně snížilo. Množství těchto chyb v TPÚ-VU je srovnatelné s PÚ. V PÚ také nebyly zaznamenány chyby vznikající protažením nebo překrytím, na rozdíl od TPÚ a TPÚ-VU.

Počet chyb u pravoúhlé techniky ve srovnání s technikou půleného úhlu s vnějším ukazatelem se významně neliší, ale snímky pořízené pravoúhlou technikou jsou obecně přesnější než snímky pořízené technikou půleného úhlu. Stále se proto doporučuje v první řadě pravoúhlá technika v intraorálním snímkování. Avšak pokud je indikována technika půleného úhlu, je lepší využít externí ukazatel pro zaměřování rentgenového paprsku, jak vyplývá z této studie.

## A comparative study of three periapical radiographic techniques for endodontic working length estimation [3]

**Český název:** Srovnávací studie intraorálních rentgenových technik pro odhad endodontické pracovní délky

Cílem této studie je posoudit kvalitu rentgenových snímků pro stanovení pracovní délky kořenových kanálků. Rentgenové snímky byly vytvořeny pomocí dvou typů endodontických držáků na film. Držáky na film byly následně ohodnoceny operátory i pacienti.

Rentgenové snímky jsou důležité pro stanovení pracovní délky kořenových kanálků. Pro tento účel se častěji používá paralelizační (pravoúhlá) technika než technika půleného úhlu.

Této studii se zúčastnilo 5 postgraduálních studentů a 20 studentů v posledním ročníku zubního lékařství. Každý účastník studie obdržel 2 držáky na film, které střídal po jednom pacientovi, pokud to bylo možné. Použitými držáky byly Endoray II (Rinn Dentsply, Weybridge, UK) a XCP Endodontický nástroj (Rinn Dentsply). Po každé expozici byla zaznamenána přijatelnost techniky pro operátora i pacienta.

Bylo vytvořeno celkem 103 rentgenových snímků, 6 bylo ze studie vyloučeno, zbývajících 97 rentgenových snímků se skládalo z 60 pořízených paralelizační technikou a 37 pořízených technikou půleného úhlu.

*Tab. 1.6 Subjektivní hodnocení kvality rentgenových snímků*

Hodnocení	Kvalita	Slovní vysvětlení
1	Vynikající	Žádné chyby při přípravě pacienta, umístění expozice, zpracování nebo manipulaci s filmem
2	Diagnosticky přijatelná	Drobné chyby při přípravě pacienta, umístění expozice, zpracování nebo manipulaci s filmem
3	Diagnosticky nepřijatelná	Nepřijatelné chyby při přípravě pacienta, umístění expozice, zpracování nebo manipulaci s filmem

V Tab. 1.6 je popsáno subjektivní hodnocení, kterým byly hodnoceny všechny snímky. Rozsah subjektivní kvality rentgenových snímků pořízených paralelizační technikou a technikou půleného úhlu je srovnán v Tab. 1.7.

**Tab. 1.7 Rozsah subjektivní kvality pořízených snímků u obou technik**

<b>Celková kvalita</b>	<b>Paralelizační technika</b>	<b>Technika půleného úhlu</b>
<b>Vynikající</b>	22 snímků	0 snímků
<b>Diagnosticky přijatelná</b>	28 snímků	19 snímků
<b>Diagnosticky nepřijatelná</b>	10 snímků	18 snímků

U hodnocení držáků filmů operátory bylo zařízení XCP považováno za vynikající nebo dobré v 90,6 % případů a Endoray II v 88,9 % případů. Pro pacienty byl pohodlný XCP v 46,9 % případů a Endoray II v 48,1 % případů. Velmi malý podíl pacientů považovalo držáky na filmy nepohodlné, pro XCP 12,5 % případů a pro Endoray II pouze 3,7 % případů. Ostatní pacienti zaznamenali jen mírné nepohodlí. V hodnocení nebyl výrazný rozdíl mezi těmito 2 držáky na filmy.

Použití držáků filmu poskytlo vyšší celkovou kvalitu snímků pro odhad endodontické pracovní délky kořenového kanálku. Nebyl však zjištěn významný rozdíl mezi jednotlivými typy držáků. Z intraorálních rentgenových technik měla lepší výsledky paralelizační technika, ta poskytla kvalitnější snímky při přesném zobrazování zubů za účelem odhadu endodontické pracovní délky.

## Image Distortion of The Roots of Maxillary Deciduous Molars on Iopa's Recorded With Bisecting Angle or A Modified Paralleling Technique [4]

**Český název:** Zkreslení obrazů kořenů stoliček horní čelisti u dočasného chrupu na intraorálních snímcích pořízených technikou půleného úhlu a modifikovanou paralelizační technikou

Cílem této studie bylo vyhodnotit a porovnat kvalitu obrazu horní čelisti u dočasného chrupu pomocí intraorálních rentgenových technik, konkrétně pomocí kompromisní 20stupňové paralelizační techniky a techniky půleného úhlu.

Snímky získané intraorální paralelizační technikou jsou přesnější a méně zkreslené než u techniky půleného úhlu. U malých dětí se paralelizační technika nedoporučuje z anatomických důvodů, kdy nelze správně umístit film rovnoběžně s vertikální osou zubů a dochází tak ke zkreslení.

Do studie bylo zařazeno 60 dětí mladších 9 let, které byly náhodně rozděleny do 2 skupin. Skupina A-IOPAR (33 dětí), kde byly děti vyšetřovány technikou půleného úhlu a skupina B-IOPAR (27 dětí), kde byly děti vyšetřovány 20stupňovou paralelizační technikou.

Všechny rentgenové snímky byly analyzovány dvěma pozorovateli. Vzájemné shody byly vypočteny pomocí Kappa statistik (K) a uvedeny v Tab. 1.8.

*Tab. 1.8 Skupina A vs. skupina B, vzájemná shoda*

Skupina	K
A	0,63
B	0,58

Získané kvalitativní hodnoty byly dále analyzovány pomocí Chí-kvadrát testu. Výsledky Chí-kvadrát testu pro analýzu významnosti mezi skupinou A a skupinou B jsou uvedeny v Tab. 1.9. Hladina významnosti (p-hodnota) mezi skupinou A a skupinou B jsou interpretovány jako statisticky nevýznamné.

*Tab. 1.9 Skupina A vs. skupina B, hladina významnosti*

Pozorovatel	P hodnota
1	0,219
2	0,161

Výsledkem této studie nebyl zjištěn žádný výrazný rozdíl v kvalitě obrazu horní čelisti u dočasného chrupu pořízeného technikou půleného úhlu a kompromisní 20stupňovou paralelizační technikou.

## **Comparison of bisecting and parallel intraoral radiography and cone-beam computed tomography for detecting various horizontal angle root fractures [5]**

**Český název:** Porovnání intraorální techniky půleného úhlu, paralelizační techniky a Cone-beam výpočetní tomografie pro detekci různých zlomenin kořene zubu ve vodorovném úhlu

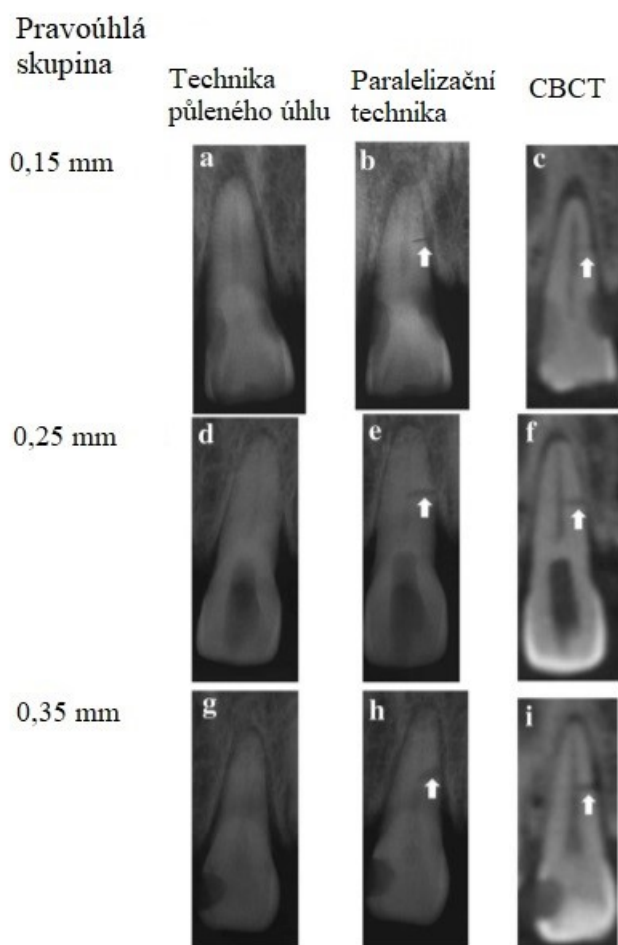
Cílem této studie bylo porovnat Cone-beam výpočetní tomografii (CBCT) s intraorálními rentgenovými technikami, konkrétně s paralelizační technikou a technikou půleného úhlu pro jejich detekční schopnosti různých zlomenin v horizontálním úhlu v kořenech zubů.

Zlomeniny kořene zubů vznikají obvykle po poranění způsobených velkou silou v dané oblasti. Nejčastěji se jedná o střední (68 % případů) a postranní (27 % případů) řezáky horní čelisti. Diagnóza zlomeniny kořene zubu je důležitá pro stanovení prognózy a určení vhodné léčby pro zuby.

Pro tuto studii bylo použito 90 horních středních stoliček z trvalého chrupu, které nikdy neprodělaly léčbu kořenových kanálků. 81 zubů bylo náhodně rozděleno do 3 skupin, a to na základě velikostí úhlů rýh, které byly do zubů vytvořeny. Jednalo se o pravoúhlou skupinu, 75stupňovou skupinu a 55stupňovou skupinu. Úhly vytvořených rýh se vztahovaly k podélné ose zubů a byly vytvořeny pomocí vertikálně rotujících disků s šířkami: 0,15 mm, 0,25 mm a 0,35 mm. Zbýlých 9 stoliček bylo použito jako kontrolní, nebyly v nich vytvořeny rýhy. Zuby byly vsunuty do alveolární kosti lidské lebky, která byla určena pro vzdělávání v dentální rentgenové projekci.

Na snímcích pořízených paralelizační technikou a CBCT byly patrné rýhy pro všechny tloušťky, a to u skupiny pravoúhlé a 75stupňové. Pro techniku půleného úhlu nebyly znatelné. Pro 55stupňovou skupinu byly rýhy zaznamenány na snímcích vytvořených technikou půleného úhlu a CBCT, ale ne pro paralelizační techniku. Pro kontrolní skupinu, která neměla vytvořeny rýhy, nebyl výrazný rozdíl mezi použitými radiografickými technikami.





**Obr. 1.5 Radiografické snímky pro pravoúhlou skupinu [5]**

V pravoúhlé skupině byly hodnoty citlivosti paralelizační techniky a CBCT výrazně větší než u techniky půleného úhlu, a to u všech šířek disků. V 75stupňové skupině CBCT vykazovala nejvyšší citlivost u všech šířek disků, paralelizační technika u 0,25 mm a 0,35 mm. Technika půleného úhlu spolu s CBCT vykazovaly nejvyšší citlivost ve všech šířkách disků u 55stupňové skupiny. Ve specifčnosti nebyly výrazné rozdíly mezi všemi použitými technikami.

Tato studie ukázala, že CBCT má vysokou diagnostickou přesnost pro zuby s kořenovými zlomeninami v jakémkoliv úhlu. Pro intraorální rentgenové techniky je zapotřebí použít jiný projekční úhel. Účinnost intraorálních rentgenových technik závisí na úhlu rentgenového paprsku vzhledem ke směru linie, ve které se nachází zlomenina.

## **The comparison of the precision of different dental radiographic methods in mandibular peri-implantary measurements: an in vitro study [6]**

**Český název:** Porovnání přesnosti různých zubních rentgenografických metod v měření implantárních struktur v dolní čelisti: studie in vitro

Cílem této studie bylo zkoumat in vitro přesnost měření periimplantárních struktur pomocí dvourozměrných rentgenografických metod a pomoci tak v rozhodování lékařů, jakou rentgenografickou metodu pro měření použít.

Pro tuto studii byla použita dolní čelist z mrtvého lidského těla. Do dolní čelisti bylo dáno 6 implantátů, což je možno vidět na Obr. 1.6. Pro získání rentgenových snímků byly použity metody konvenční a digitální panoramatické radiografie, technika půleného úhlu a pravoúhlá technika.



***Obr. 1.6 Dolní čelist s 6 zavedenými implantáty [6]***

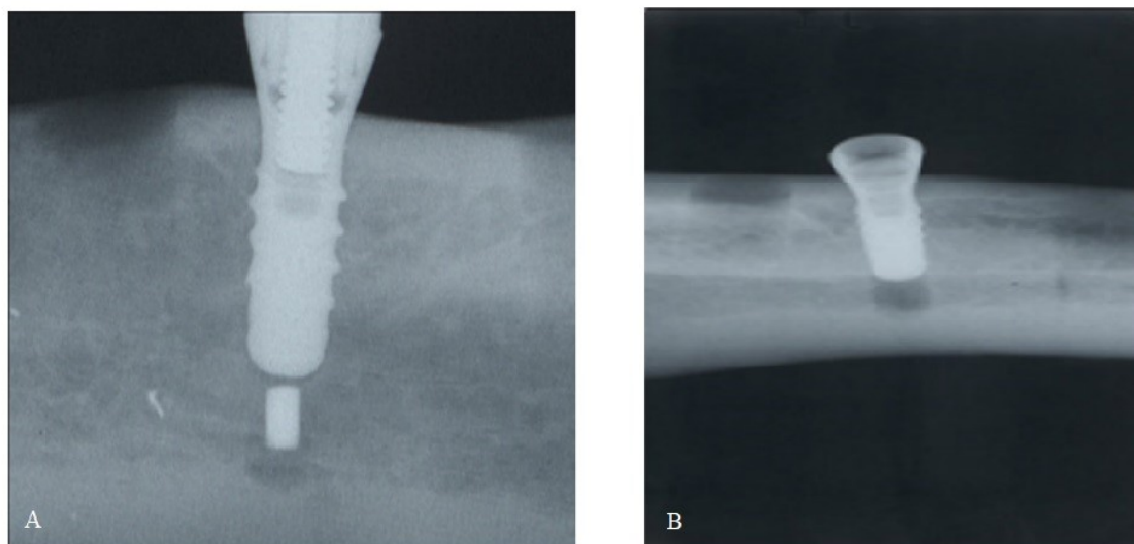
Pomocí čtyř rentgenografických technik byly dvěma hodnotiteli měřeny a porovnány průměry a délky implantátů zavedených do dolní čelisti. Jako referenční body pro šířku a délku implantátu byly použity hodnoty 4,8 mm a 10 mm. Statisticky nebyl zjištěn významný rozdíl mezi celkovými měřeními u obou hodnotitelů. Hodnoty spolehlivosti mezi pozorovateli byly 0,79 pro průměr implantátu a 0,96 pro délku implantátu.

**Tab. 1.10 Měření implantátu pro všechny radiografické techniky 2 pozorovateli**

Technika		Střední hodnota±SO		p
Technika půleného úhlu	Průměr implantátu	Pozorovatel 1	0,58±0,46	0,173
		Pozorovatel 2	0,65±0,40	
	Délka implantátu	Pozorovatel 1	1,19±1,93	0,249
		Pozorovatel 2	1,31±1,82	
Pravoúhlá technika	Průměr implantátu	Pozorovatel 1	0,05±0,04	0,600
		Pozorovatel 2	0,10±0,15	
	Délka implantátu	Pozorovatel 1	0,13±0,11	0,753
		Pozorovatel 2	0,19±0,30	
Konvenční panoramatická radiografie	Průměr implantátu	Pozorovatel 1	1,67±0,29	0,917
		Pozorovatel 2	1,68±0,33	
	Délka implantátu	Pozorovatel 1	3,40±0,60	0,600
		Pozorovatel 2	3,44±0,68	
Digitální panoramatická radiografie	Průměr implantátu	Pozorovatel 1	1,42±0,78	0,600
		Pozorovatel 2	1,10±0,77	
	Délka implantátu	Pozorovatel 1	2,90±1,58	0,917
		Pozorovatel 2	3,01±1,39	

Tab. 1.10 reprezentuje hodnoty naměřené dvěma pozorovateli pro průměr a délku implantátu prostřednictvím čtyř radiografických technik. SO značí směrodatnou odchylku a p hladinu významnosti.

Přestože existuje již mnoho studií, které se přiklání spíše k panoramatické radiografii, v této studii prokázaly lepší výsledky intraorální rentgenové techniky.



**Obr. 1.7 Srovnání rentgenových snímků pořízených pravoúhlou technikou (A) a technikou půleného úhlu (B)**  
[6]

Po srovnání intraorálních rentgenových technik (Obr. 1.7) bylo zjištěno, že intraorální pravoúhlá technika poskytuje mnohem lepší snímky, které jsou vhodné pro přesné zpracování. Kvůli obtížnému umístění filmu do správném úhlu u techniky půleného úhlu nelze na snímcích ostře zobrazit závit implantátu.

V rámci této in vitro studie byla vyhodnocena intraorální pravoúhlá technika jako nejvhodnější metoda pro přesné měření periimplantárních oblastí dolní čelisti, zejména tedy kostí.

#### 1.1.4 Závěr literární rešerše

[1] V této studii byly srovnány 4 intraorální rentgenové techniky a jejich přesnost při detekování mezer v zubním implantátu. Pro tento účel nebyla vhodná technika půleného úhlu, ostatní techniky prokázaly vyšší diagnostickou přesnost.

[2] Tato studie se zabývá problematikou chyb vznikajících při snímkování zubů a okolních oblastí, obzvláště při snímkování technikou půleného úhlu. Počet chyb byl snížen užitím vnějšího ukazatele při této rentgenové technice.

[3] Jednalo se o studii, kde byly použity dva typy držáků na film (Endoray II a XCP Endodontický nástroj), které zlepšily celkovou kvalitu snímků, avšak významný rozdíl mezi jednotlivými typy nebyl zaznamenán. Snímky vytvořené paralelizační technikou byly přesnější při zobrazení endodontické pracovní délky zubů.

[4] Článek popisuje problematiku intraorálního rentgenování paralelizační technikou u dětí. V tomto případě byla porovnána technika půleného úhlu a 20stupňová paralelizační technika, jako náhrada za standardní paralelizační techniku. Ve výsledku nebyl mezi jednotlivými technikami významný rozdíl.

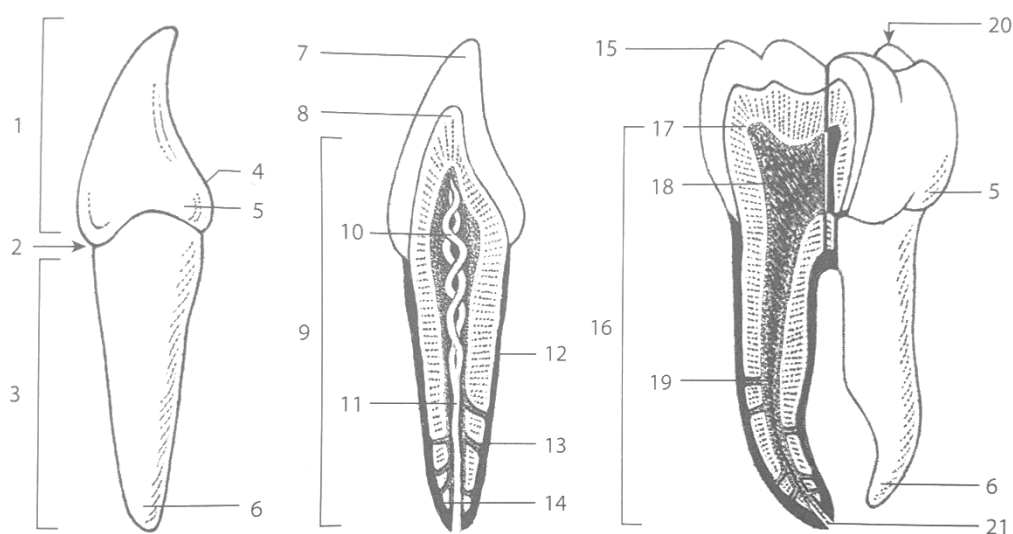
[5] Studie porovnává CBCT s intraorálními rentgenovými technikami v souvislosti s detekcí zlomenin v kořenech zubů. CBCT prokázala vysokou diagnostickou přesnost v detekci zlomenin zubů v jakémkoliv úhlu. U intraorálních technik účinnost závisí na úhlu rentgenového paprsku vůči zlomenině.

[6] Článek srovnává techniku půleného úhlu, pravoúhlou techniku a panoramatickou radiografii při detekci zubního implantátu zavedeného do dolní čelisti. Pro tento účel byla nejvíce vhodná pravoúhlá technika.

## 1.2 Anatomie a morfologie zubů

Z hlediska anatomického se dutina ústní dělí na předsín dutiny ústní a vlastní dutinu ústní. Hranici mezi předsíní a vlastní dutinou ústní tvoří zuby (*dentes*) a dásňové výběžky (*processus alveolares*). Zuby jsou tvořeny z tvrdých tkání, vyčnívají z alveolárních výběžků horní a dolní čelisti, které jsou uspořádány do dvou obloukových řad a jsou kryté dásní (*gingiva*). Slouží k uchopování, dělení a rozmělnění potravy. Tvarově se liší právě kvůli funkční specializaci [7–9].

Zub se skládá z korunky (*corona dentis*), krčku (*cervix dentis*) a kořene (*radix dentis*). Korunka zubu je různorodě tvarovaná část vyčnívající z dásně. Na povrchu korunky je plocha kousací, kde se nachází různý počet kousacích hrbolků. V úzké oblasti mezi korunkou a kořenem je krček zubu. Krček pokrývají měkké tkáně dásně. Pokud je dásně zdravá, tak vytváří se zubem tzv. *gingivodentální uzávěr*, který zaručuje neprůchodnost látek a bakterií z úst do tkání okolo zubního kořene. Zubní kořen je umístěn v kostěném lůžku čelisti (*alveolu*), kde je přichycen systémem pojivových vláken nazývaným *periodontium* – *ozubice*. Kořen může být jednoduchý nebo může být rozdělen do více větví. Je zakončen hrotem (*apex radialis dentis*). Dutina nacházející se uvnitř každého zubu je označována jako dřevná dutina (*cavitas dentis*). V korunce je rozšířená a směrem ke krčku se zužuje do kořenového kanálku (*canalis radialis dentis*), který ústí jako *foramen apicis dentis*. Součástí dřevné dutiny je zubní dřev (*pulpa dentis*) s cévami a nervy [7, 10].



1 – corona dentis  
2 – cervix dentis  
3 – radix dentis  
4 – tuberculum dentale  
5 – cingulum  
6 – apex radialis dentis  
7 – enamelum (sklovina)

8 – dentium (zubovina)  
9 – pulpa dentis (zubní dřev)  
10 – pulpa coronalis  
11 – pulpa radialis  
12 – cementum  
13 – akcesorní kanálek  
14 – apikální ramifikace

15 – cuspis dentalis  
16 – cavitas dentis  
17 – cornu pulpae  
18 – cavitas coronalis  
19 – canalis radialis dentis  
20 – apex cuspidis  
21 – foramen apicis dentis

**Obr. 1.8 Části zubu [10]**

### 1.2.1 Stavba zubů

Na stavbě zubů mají podíl tři tvrdé tkáně, mezi které se řadí zubovina (*dentin*), sklovina (*email*, *enamelum*) a zubní cement (*cementum*). Zubovina je hlavní hmotou zubu. Obsahuje z větší části anorganickou hmotu. Zubovina je tvrdší než kost. Odontoblasty svou činností produkují zubovinu, na kterou zevnitř naléhají a ohraničují ji od zubní dřeně. Odontoblasty vysílají tzv. Tomesova vlákna až k povrchu zuboviny, kde se nachází hranice se sklovinou a s cementem. Kolem těchto vláken jsou vytvořeny kanálky, do kterých ze zubní dřeně vybíhají nervová vlákna, což způsobuje citlivost zuboviny. Cévy se v zubovině nenachází [7, 8, 10].

Povrch korunky zubu pokrývá sklovina. Jedná se o nejtvrďší tkáň v lidském těle. Je tvořena sloupečky – prizmaty, které probíhají vlnovitě a jsou přibližně kolmé k povrchu zuboviny. Sousedící prizmata zapadají do sebe. Na povrchu skloviny u nově prořezaného zubu je nezvápenatělá blanka (*cuticula dentis*) neboli Nasmythova membrána. Cement se podobá kompaktní kosti. Je chudý na kostní buňky. Kolagenní vlákna spojují cement s povrchem dentinu. Cement se nachází na povrchu krčku a kořene zubu. V oblasti zubního krčku je velmi tenký, na rozdíl od oblasti kořene zubu, kde je vrstva cementu silná. Zubní dřeň (*pulpa dentis*) je podle úseku, kde se nachází, označována jako korunková (*pulpa coronalis*), která vyplňuje dřeňovou dutinu korunky zubu anebo je označována jako kořenová pulpa (*pulpa radicularis*), která vyplňuje kořenový kanálek zubu. Jedná se o měkkou, růžovou tkáň skládající se z řídkého vaziva, nervových vláken, včetně drobných nervových buněk a mizných i krevních cév. Cévy a nervy se dostávají do dřeně skrz *foramen apicis dentis* [7, 10].

### 1.2.2 Morfologie zubů

Dočasný chrup je složen z 20 dočasných zubů (*dentes decidui*). V horní čelisti se nacházejí 4 řezáky, 2 špičák a 4 stoličky, rovněž jako v dolní čelisti. Liší se velikostí a počtem zubů oproti trvalému chrupu, tvarově se však podobají. Zubní korunky u dočasného chrupu jsou nižší, dřeňová dutina je větší a kořeny jsou více rozbíhavé, protože obepínají základ stálého zubu, který se již nachází v čelisti. Oproti dočasnému chrupu se stálý chrup skládá z 32 stálých zubů (*dentes permanentes*). V horní i dolní čelisti se nacházejí 4 řezáky, 2 špičáky, 4 zuby třenové a 6 stoliček [7, 10].

U řezáků (*dentes incisivi*) jsou korunky ve tvaru dláta s řezací hranou. Mají jeden kořen. V horní čelisti se nacházejí na každé straně 2 řezáky, první se označuje jako střední (velký) řezák a druhý jako postranní (malý) řezák. Korunky u horních řezáků jsou širší. Dolní řezáky jsou dva na každé polovině dolní čelisti a první se označuje jako střední a druhý jako postranní řezák. Dolní první řezák je z celého chrupu nejmenší. Tak jako řezáky, i špičáky (*dentes canini*) mají jeden kořen. Korunka špičáku přechází v jeden hrot. Dolní špičák má korunku tenčí než horní špičák. Horní špičák je nejdelší zub z celého chrupu. Špičáky slouží k trhání potravy. Také k trhání a k předrozměňování potravy slouží zuby třenové (*dentes praemolares*), které jsou dva v každé polovině čelisti a nazývají se prvním a druhým premolárem. Korunka oproti řezákům a špičákům je mohutnější. Jsou to zuby s dvěma hrbolky na žvýkací plošce, proto jsou označovány jako dvojhrbolkové (*dentes bicuspidati*). Hrbolek vestibulární je blíže předsíni dutiny ústní a hrbolek lingvální je blíže jazyku. U horních třenových zubů jsou hrbolky přibližně stejně vysoké, dolní třenové zuby mají hrbolek lingvální menší oproti vestibulárnímu hrbolku. Zuby třenové mají často jeden kořen, mohou se však vyskytovat i s dvěma kořeny, a to u druhého horního premoláru. Zuby s více kořeny jsou stoličky (*dentes molares*). Horní stoličky jsou tříkořenné a dolní stoličky dvoukořenné. Mají mohutnou korunku s více hrbolky. Stoličky jsou určeny pro rozměňování potravy. Třetí stoličky jsou označovány jako zuby moudrosti. Tyto zuby mají velmi časté odchylky v prořezávání, někdy ani nedojde k jejich prořezání. Prořezávání třetích stoliček je mnohokrát spojeno s obtížemi, a to v důsledku nedostatečného místa v čelisti [7, 8, 10].

### 1.3 Rentgenová technika v zubním lékařství

Rentgenová technika se začala rozvíjet od roku 1895, kdy Wilhelm Conrad Röntgen objevil nový druh záření, díky kterému pořídil první snímek kostních částí lidského těla. Toto záření je pojmenováno právě po jeho objeviteli jako rentgenové záření. Rentgenové záření je elektromagnetické záření s krátkou vlnovou délkou. Jedná se o svazky fotonů neboli kvant elektromagnetického pole s vysokou energií, kterou lze určit jako:

$$E = h \cdot f \quad (1.1)$$

$E$  je energie fotonů,  $h$  je Planckova konstanta ( $6,63 \cdot 10^{-34}$  Js) a  $f$  je frekvence kmitů. Zdrojem rentgenového záření je rentgenka neboli rentgenová lampa, což je skleněná trubice naplněna vakuem, jehož součástí jsou dvě elektrody – kladná anoda a záporná žhavená katoda. Pokud dojde k zapojení vysokonapěťového zdroje mezi tyto elektrody, katoda se nažhaví, dojde k uvolnění elektronů z katody a ty jsou dále přitahovány k anodě. Elektrony nabývají vysoké rychlosti. Poté co elektrony narazí na anodu je jejich velká část kinetické energie přeměněna na teplo, pouze asi 1 % je přeměněno na rentgenové záření [9, 11, 12].

Vlastnost rentgenového záření využívající se v diagnostice „je schopnost pronikat hmotou a současně působit na fotografickou desku nebo film“ [11]. Rentgenové záření je při průchodu tkání v lidském těle rozdílně absorbováno, jeho absorpce závisí na denzitě tkáně. Po průchodu tkání dojde k oslabení paprsku záření, které lze vyjádřit vzorcem:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot d} \quad (1.2)$$



$I$  je intenzita záření po průchodu hmotou,  $I_0$  je původní intenzita záření,  $\mu$  je koeficient útluhu a  $d$  je tloušťka hmoty, kterou záření prošlo. Například měkké tkáně a vzduch absorbují rentgenové záření málo, na snímku po vyvolání se zobrazují jako černé, oproti tomu kost, zubní výplně velmi absorbují záření a na snímku se zobrazí jako světlé. Na výsledném snímku je tedy stín rentgenového záření zobrazen jako světlý a projasnění jako tmavé [11, 12].

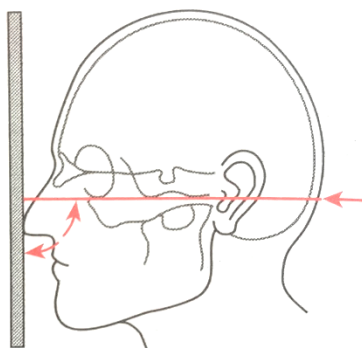
V zubním lékařství se používá skiografie neboli snímkování, jejímž výsledkem je statický dvojrozměrný obraz, který se zobrazí na film. Snímky jsou nativní. Dentální rentgenové přístroje pořizují intraorální nebo extraorální snímky [11].

### 1.3.1 Extraorální snímkování

U extraorálních snímkových technik je film nebo senzor situován mimo dutinu ústní. Používá se technika klasických extraorálních snímků lbi, telerentgenografie anebo technika založená na zásadách tomografie, zde patří OPG. Při snímkování je nutno dodržovat pravidla, která udávají správné postavení hlavy, umístění filmu nebo senzoru a zaměření centrálního rentgenového paprsku, který vybíhá z tubusu [9].

#### 1.3.1.1 Zadopřední snímek lebky

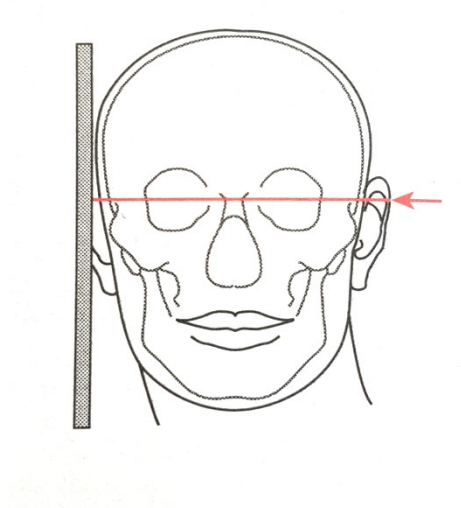
Centrální rentgenový paprsek proniká zezadu dopředu kolmo na film nebo senzor, který je umístěn před obličejem paralelně s čelní rovinou. Čelo a nos pacienta je opřeno o snímkovací stůl. „*Projekce se indikuje při posuzování vývojových anomálií a asymetrií lebky. Na projekci lze dobře hodnotit tělo a větší části větve dolní čelisti, horní část oční s frontálními siny a klenbu lební.*“ [9, 13]



Obr. 1.9 Zadopřední projekce lbi [14]

#### 1.3.1.2 Boční snímek lebky

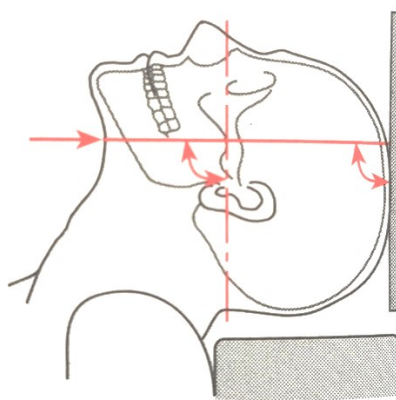
Centrální RTG paprsek probíhá paralelně asi 3 cm nad linií spojující zevní zvukovody a dopadá kolmo na film nebo senzor, zároveň je kolmý k sagitální rovině. Pacient je otočen pravou nebo levou stranou k snímkovacímu stolu, opírá se o něj uchem a jařmovým obloukem. Boční projekce lbi je indikována v traumatologii, onkologii a u dalších patologických stavů [9, 13, 14].



**Obr. 1.10 Boční projekce lbi [14]**

#### **1.3.1.3 Axiální snímek lebky**

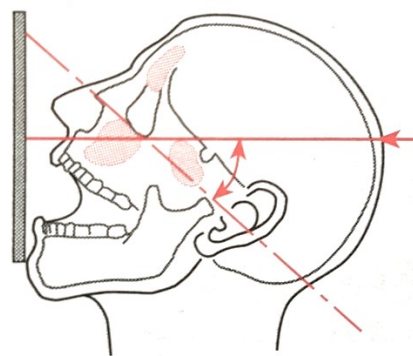
Pacient má hlavu zakloněnou dozadu, jak jen je to možné, temeno hlavy se dotýká snímkovacího stolu. Centrální RTG parsek probíhá lebkou od oblasti jazyčky nahoru kolmo na film nebo senzor. Na výsledném snímku lze dobře pozorovat spodinu lební, nosní dutinu a etmoidální dutinu [9, 13].



**Obr. 1.11 Axiální projekce lbi [14]**

#### **1.3.1.4 Poloaxiální snímek lebky (Watersova projekce)**

Pacient se opírá o snímkovací stůl bradou, případně i nosem, ústa mohou být otevřená. Centrální RTG paprsek směřuje zezadu dopředu, od týlní krajiny směrem k *spina nasalis anterior*. Indikuje se například při patologických změnách paranasálních dutin [9, 13, 14].



**Obr. 1.12 Poloaxiální projekce lbi [14]**

### **1.3.1.5 Telerentgenografie**

Telerentgenografie (dRTG) je metoda, kdy na výsledném snímku je zobrazen vyšetřovaný objekt v téměř skutečné velikosti a v odpovídajícím tvaru bez zkreslení. Objekt je vzdálený od rentgenky nejčastěji v rozmezí od 1,5 m do 2,5 m, vzácně až do 4 m. Při zhotovování snímku se používá nejčastěji projekce boční, dále také projekce zadopřední [13, 14].

Telerentgenografie našla uplatnění hlavně v ortodoncii, kde se využívá kefalometrická analýza z telerentgenogramu. Kefalometrická analýza je metoda využívající se v diagnostice, pomocí které lze zjistit odchylky růstu, vztah chrupu k obličejovému skeletu a lbi, informace o stavbě obličejového skeletu a o vztahu horní a dolní čelisti vůči sobě i vůči lbi [13, 14].

### **1.3.1.6 Ortopantomografie (OPG)**

Jedná se o jedinou metodu, při níž lze zobrazit celou horní i dolní čelist, nosní dutinu, čelistní dutinu a čelistní kloub na jednom snímku. Princip OPG je modifikací tomografie. Rentgenka, tedy zdroj RTG záření se pohybuje okolo pacientovi hlavy, která je upevněna do kefalostatu a trajektorie pohybu rentgenky opisuje zubní oblouk. Film je umístěn na protilehlé straně od rentgenky, pohybuje se proti jejímu směru. Na filmu je zachyceno záření, které je cloněno štěrbinovitým kolimátorem. Zakřivené objekty se na filmu zobrazují s minimálním zkreslením. Výsledný snímek je zvětšený oproti skutečnosti, obvykle je hodnota zvětšení 1,25 [10, 11, 13, 15].

V zubním lékařství slouží OPG k přehlednému vyšetření zubů a čelistí zobrazených na jednom snímku, dávka záření do pacienta je relativně malá a pacienti se zvýšeným dávivým reflexem mají poměrně dobrou toleranci na vyšetření. Na základě OPG se eventuálně mohou indikovat projekce jednotlivých zubů, prostřednictvím intraorálního snímkování, které poskytuje přesnější a podrobnější zobrazení [10, 11, 13].

### 1.3.2 Intraorální snímkování

Na rozdíl od extraorálních snímkových technik se vkládá film nebo senzor k snímkanému zubu do dutiny ústní. Hlava pacienta je standardně v pozici, kdy sagitální rovina je vertikální a Camperova linie<sup>2</sup> je vodorovná. Toto postavení hlavy se využívá při snímkování horní čelisti. Při vyšetření v dolní čelisti leží spojnice ústního koutku a tragu<sup>3</sup> vodorovně. Intraorální techniky zobrazují jednotlivé zuby a okolní tvrdé tkáně. V ideálním případě, kdy je zkreslení minimální, je dán film nebo senzor paralelně s podélnou osou zubu a centrální RTG paprsek je pomocí držáků nastaven kolmo na film. Tento způsob snímkování se označuje jako pravoúhlá technika (viz Pravoúhlá (paralelizační) technika). Avšak z anatomických důvodů, obzvláště u horní čelisti, je dosažení paralelního uložení filmu velmi obtížné, proto se využívá snímkovácí technika podle pravidla Cieszynského nazývaná jako technika půleného úhlu (viz Technika půleného úhlu). Pro zobrazení kořenů zubů s přilehlými alveolárními výběžky, kořenových kanálků a hrotů kořenů se využívá projekce apikální (periapikální), v tomto případě se korunky nemusí zobrazovat celé. Projekce limbální (marginální, okrajová) zobrazuje zubní korunky a marginální parodont, kořen zubů nebývá zobrazen [9, 11, 13].

Nejčastější snímky jsou pořízené pomocí apikální nebo limbální projekce a pomocí pravoúhlé techniky. Filmy využívající se při těchto technikách mají velikost 3×4 cm. U bitewing techniky bývá film velikosti 3×5 cm. Projekce okluzní používá filmy 4×5 cm, 5×7 cm a 6×8 cm. Pro záznam všech zubů z horní a dolní čelisti prostřednictvím intraorálních snímků je pro každou čelist potřeba u velikosti filmu 3×4 cm 5–7 snímků. Sada takto vytvořených snímků se nazývá zubní status [10, 11, 13].

#### 1.3.2.1 Paralelní technika (bitewing, interproximální projekce)

Při snímkování paralelní technikou se využívá speciální film s nákusným křídélkem, odtud název bitewing, nebo držákem. Centrální paprsek je namířen kolmo na film umístěný za korunky zkoumaných zubů. Na výsledném snímku jsou zobrazeny korunky zubů horní i dolní čelisti a mezizubní prostory. Tato technika slouží k diagnostice kazů. Zkreslení při paralelní technice je poměrně malé, a proto se používá jako preventivní vyšetření, které případně stanoví léčbu kazů a může sloužit pro sledování kariézních lézí v čase [9, 13].

#### 1.3.2.2 Okluzní snímky

Při pořízení okluzních snímků je do úst pacienta dán film, který pacient následně lehce skousne, a tak jej přidržuje v požadované poloze. Na výsledném snímku je zobrazena skupina zubů, větší část čelisti či spodiny ústní. Pro axiální zobrazení horního patra a oblouku zubů je centrální paprsek nasměřován axiálně shora, úhel mezi rovinou filmu a centrálním paprskem je asi 70°, hlava pacienta je ve stejné poloze jako u standardního snímkování. Indikuje se v traumatologii nebo pro lokalizaci zubů nacházejících se v nesprávné pozici. U zhotovování okluzních snímků dolní čelisti vstupuje centrální paprsek do čelisti v oblasti prvního moláru, s filmem svírá 90° úhel. Pacientova hlava je zakloněna. Indukuje se v traumatologii, ortodoncii a při lokalizaci nesprávně postavených zubů anebo pro lokalizaci slinných kaménků [9, 11, 13, 14].

---

<sup>2</sup> Camperova linie – linie spojující dolní okraj nosního křídla se zevním zvukovodem.

<sup>3</sup> Tragus – výběžek v přední části ucha

### 1.3.3 Radiologické lokalizační metody

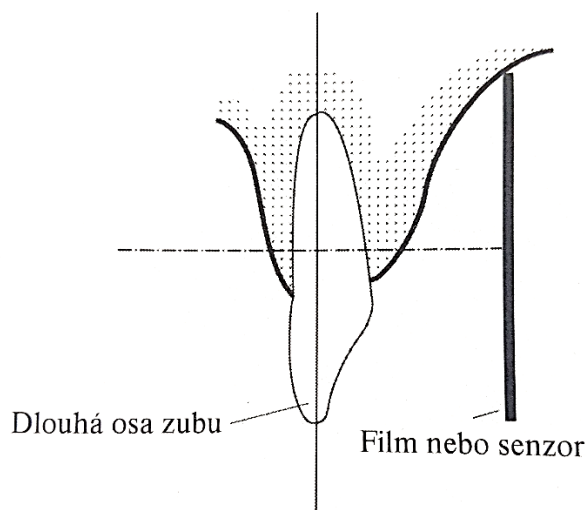
Kost dolní čelisti je plochá, proto dovoluje jednoduché lokalizační poměry oproti horní čelisti, kde jsou lokalizační poměry složitější. Z toho důvodu se využívá k lokalizaci radiologických lokalizačních metod. Tyto metody se dělí na méně přesné a přesné. Mezi méně přesné metody se řadí metoda zvětšení a překrývání (navrstvení) obrazu. Do přesné metody je řazena paralaxní (Clarkova) metoda, pravoúhlá technika (viz Pravoúhlá (paralelizační) technika) a stereoradiografie [16].

### 1.3.4 Radiační ochrana v zubním lékařství

Ve stomatologické rentgenologii bývá stomatolog ve většině případů i rentgenologem. Ochrana před ionizujícím zářením při RTG vyšetření ve stomatologii může být rozdělena na ochranu vyšetřujícího, ta zahrnuje stavební a organizační podmínky, které musí být splněny v zubních ordinacích a vyšetřovacích místnostech. Dále se jedná o ochranu vyšetřovaného neboli pacienta, kde dávku lze snížit počtem RTG vyšetření. Zde je důležitá správná indikace vyšetření a vyvarování se zbytečnému opakování snímkování. Dalším způsobem je snížení dávky záření na jedno vyšetření, které lze omezit používáním moderních, technicky vyhovujících RTG přístrojů a pasivní ochranou pacienta. Pasivní ochrana spočívá v používání vhodných ochranných pomůcek. Doporučuje se použití lehké ochranné zástěry, ochranného límce nebo zástěry spojené s límcem. I v tomto případě platí princip ALARA (As Low As Reasonable Achievable), kdy expozice by měla být tak nízká, jak jen to je rozumně možné [17].

## 1.4 Pravoúhlá (paralelizační) technika

Pravoúhlá technika se řadí mezi intraorální snímkovací techniky zubů. Při této metodě je film uchycen v držáku, který je spojen s tubusem. Snímkování se uskutečňuje pomocí dlouhého tubusu (30 cm), který slouží k omezení rozbíhavosti svazku. Zdroj rentgenového záření je oddálen od zubů přibližně o dvakrát větší vzdálenost, na rozdíl od standardního snímkování [13, 14].



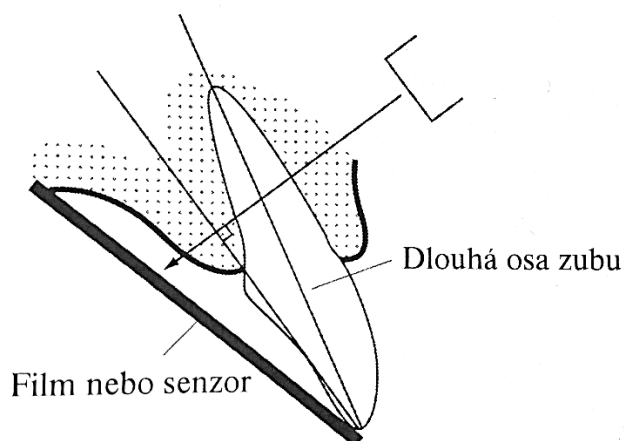
**Obr. 1.13 Pravoúhlá technika [13]**

Centrální paprsek, díky držáku filmu, míří stále na střed filmu. Film se ukládá do úst pacienta rovnoběžně s podélnou osou zubu. Důležité je také postavení hlavy pacienta, které závisí na oblasti snímkování. U vyšetření horní čelisti je Camperova linie vodorovná, při vyšetření dolní čelisti je vodorovná spojnice ústního koutku a tragu. V obou případech je sagitální rovina svislá [10, 13, 14].

Výsledný snímek zachycuje tvrdé zubní struktury zubu, kosti alveolárního výběžku a periapikální tkáň s marginální oblastí. V okolí centrálního paprsku je pouze malé zkreslení a velká ostrost obrazu, proto při této metodě snímek nejlépe zobrazuje skutečnost. Avšak paralelity není možno dosáhnout vždy, z anatomického důvodu obzvláště v horní čelisti, řešením je v tomto případě použití techniky půleného úhlu [11, 13].

## 1.5 Technika půleného úhlu

Shodně jako pravoúhlá technika i technika půleného úhlu je jedním ze způsobů intraorálního snímkování zubů. Při této technice je film uložen intraorálně těsně k řadě zubů, které jsou snímány. Osa filmu se již nekryje s podélnou osou zubů, proto je sklon centrálního paprsku upraven podle Cieszynského pravidla. Toto pravidlo říká, že centrální paprsek dopadá kolmo na rovinu, která půlí úhel vzniklý mezi osou filmu a podélnou osou zubu. Snímek vytvořený dle Cieszynského pravidla je označován jako izometrický, blíží se tedy nejvíce skutečnosti a zkreslení je minimální. Hypermetrický snímek vzniká, pokud je nastavení centrálního paprsku příliš ploché, výsledný obraz na snímku je prodloužen. Opačným případem je hypometrický snímek, kde je výsledný obraz zubu na snímku zkrácen oproti skutečnosti [13, 14].



**Obr. 1.14 Technika půleného úhlu [13]**

Snímkování při technice půleného úhlu je zajištěno pomocí standardního krátkého 20cm tubusu. Pro pacienta je tato technika minimálně nepohodlná. Výhoda spočívá v její jednoduchosti, ale nevýhodou je, že poloha filmu není fixována vůči tubusu a výsledné snímky bývají zkreslené [13].

Podle požadavku na zobrazení dané části zubu jsou rozlišeny projekce apikální a limbální. Apikální projekce je nejčastěji používanou a slouží k zobrazení především kořenů zubů, kořenových kanálků a apikálního parodontu. Limbální (marginální) projekce zachycuje marginální parodont a zubní korunky [10].

## 2 PRAKTICKÁ ČÁST

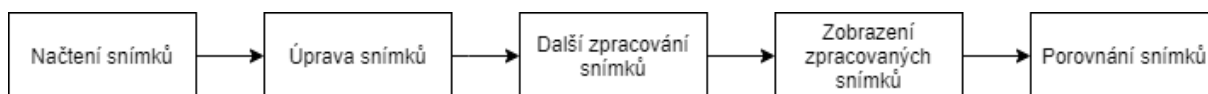
Cílem praktické části je návrh uživatelského rozhraní pro načtení a analýzu snímků pořízených dvěma intraorálními snímkovacími technikami, a to pravoúhlou technikou a technikou půleného úhlu. Funkce uživatelského rozhraní by měly umožnit redukci několika problémových skutečností, které nastávají zejména při pořizování snímků technikou půleného úhlu.

### 2.1 Návrh a realizace uživatelského rozhraní

Uživatelské rozhraní by mělo zajistit načtení a zpracování intraorálních snímků prostřednictvím vhodných funkcí. Pro tyto účely bude vytvořeno grafické uživatelské rozhraní GUIDE (Graphical User Interface Development Environment) v programu MATLAB. Při tvorbě GUIDE je uživatel interaktivně veden průvodcem tvorbou grafického uživatelského rozhraní, který obsahuje veškeré grafické objekty typu uicontrol – tlačítka, textová pole, posuvníky atd. – s jejichž využitím je ovládán chod výsledné aplikace. Při vytváření bude důležité zajistit jednoduchost, přehlednost a provázanost aplikace [18].

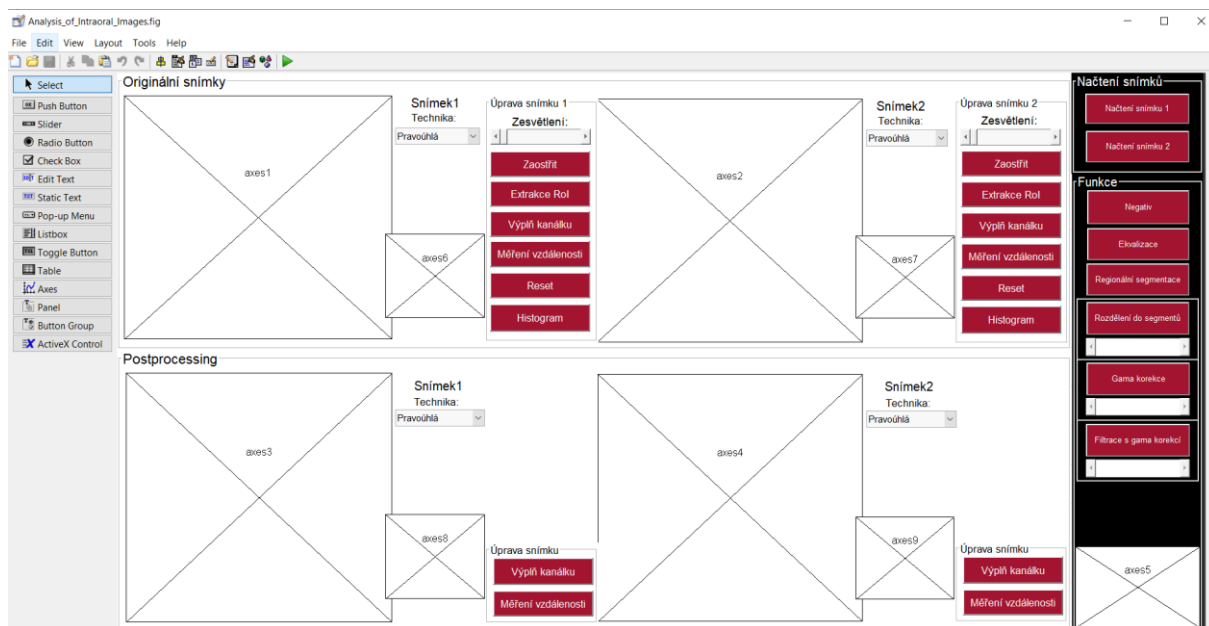
#### 2.1.1 Návrh uživatelského rozhraní

Výsledná aplikace je určena pro analýzu intraorálních snímků pořízených prostřednictvím dvou technik. V prvé řadě je tedy zapotřebí, aby uživatelské rozhraní umožňovalo načtení snímků obou technik. Následně bude možno jednotlivé snímky upravit (zesvětlit, zaostřit, vybrat objekt zájmu), a poté je pomocí funkcí dále jasově transformovat, filtrovat nebo obraz segmentovat. Takto zpracované snímky budou zobrazeny pro porovnání s původními snímky.



*Obr. 2.1 Blokové schéma návrhu algoritmu pro analýzu snímků*

Pro vytvoření grafického uživatelského rozhraní na analýzu intraorálních snímků bylo využito GUIDE v programu MATLAB. Zde bylo grafické uživatelské rozhraní navrženo pomocí příslušných grafických objektů. Pro zobrazení snímků a grafů byl využit grafický objekt *axes*. Pro popis a úpravu snímků byly využity grafické objekty *uicontrol*. Mezi tyto objekty, které byly využity pro vytvoření aplikace, patří tlačítka, textová pole, posuvníky a menu. Návrh grafického uživatelského rozhraní v programu MATLAB je zobrazen na Obr. 2.2.



**Obr. 2.2 Návrh grafického uživatelského rozhraní v programu MATLAB**

### 2.1.2 Popis aplikace

V aplikaci se nachází dvě tlačítka pro načtení dvou snímků, každý snímek je pořízen jinou rentgenografickou technikou. Snímky se zobrazují vedle sebe pro porovnání. Pro označení snímku je možno vybrat, zda se jedná o snímek pořízený pravoúhlou technikou nebo technikou půleného úhlu v popup menu.

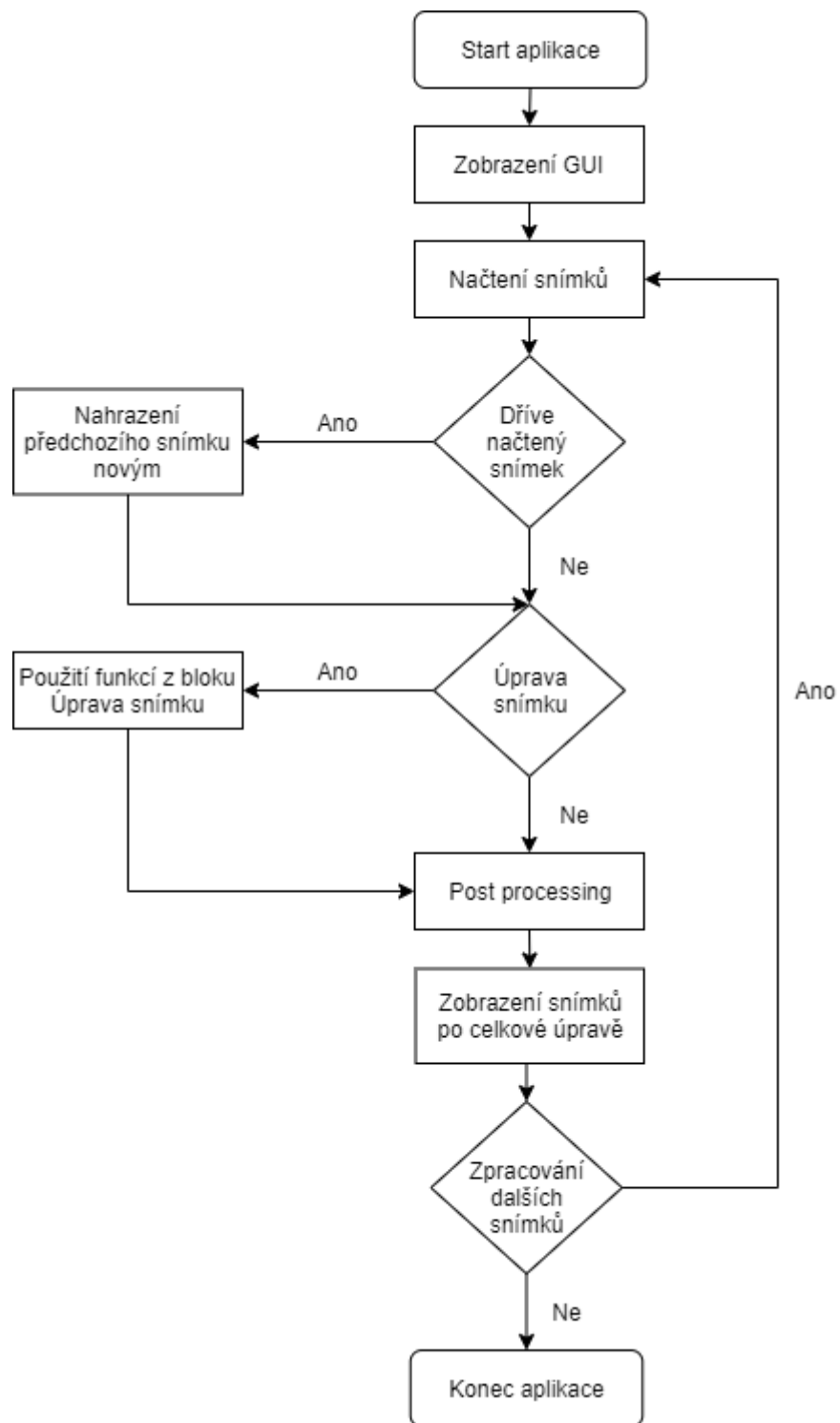
Následně může být snímek upraven. Snímek je možno zesvětlit pomocí posuvníku, pomocí tlačítek ho zaostřit, oříznout a vyplnit barevně kanálek pro lepší měření délky a šířky kanálku. Vše je možno vrátit do původního stavu pomocí tlačítka **Reset**. Vedle každého snímku se nachází plocha pro zobrazení histogramu snímku, který se zobrazí po stisknutí tlačítka **Histogram**.

Aplikace obsahuje blok funkcí, které především zaručují jasovou transformaci objektu. Jedná se o funkce: negativ, ekvalizace a gama korekce. Další funkce slouží pro rozdělení obrazu do segmentů a filtraci. Po stisknutí tlačítka s jakoukoliv funkcí, se zobrazí současně oba zpracované snímky pod původní, společně s jejich histogramem. U těchto snímků uživatel v některých případech také může vyplnit kanálek zubu, ve všech případech může změřit jeho délku a šířku.

### 2.1.3 Realizace uživatelského rozhraní

Po zobrazení uživatelského rozhraní, umožňuje aplikace načíst snímek 1 a snímek 2. Každý snímek lze samostatně upravit v bloku Úprava snímku. Postprocessing zajišťuje blok s funkcemi a následně se takto upravené snímky zobrazí pod původními pro porovnání. V aplikaci bude možno pozorovat odlišnosti mezi snímky pořízenými jednotlivými technikami, obzvláště pomocí měření vzdálenosti kanálků.

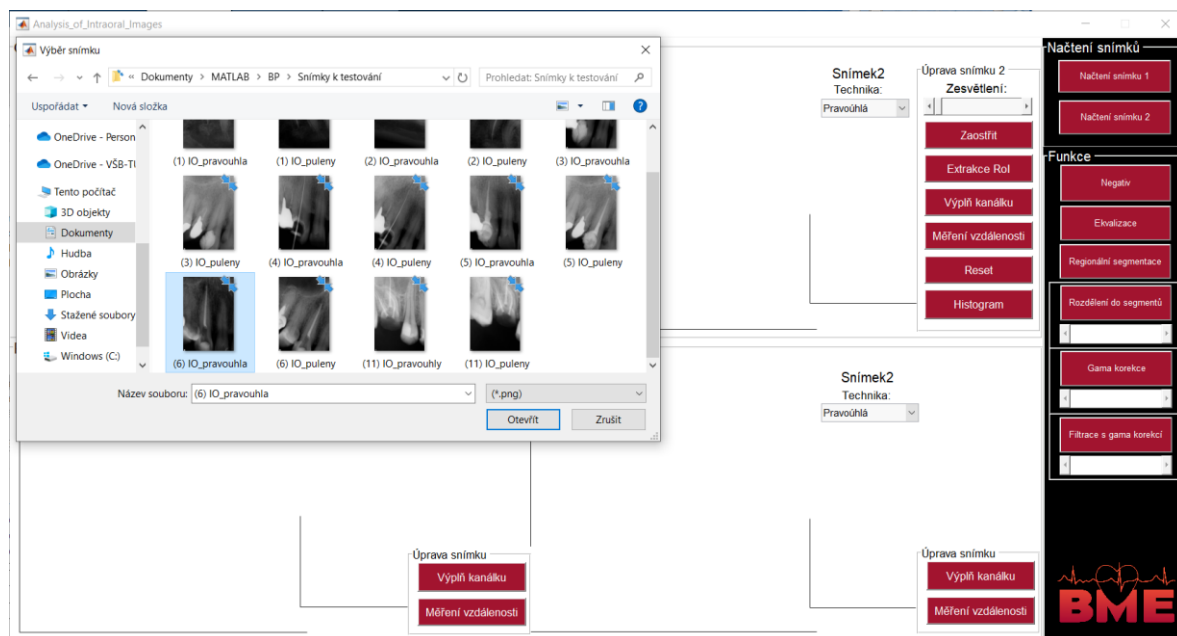




*Obr. 2.3 Vývojový diagram aplikace*

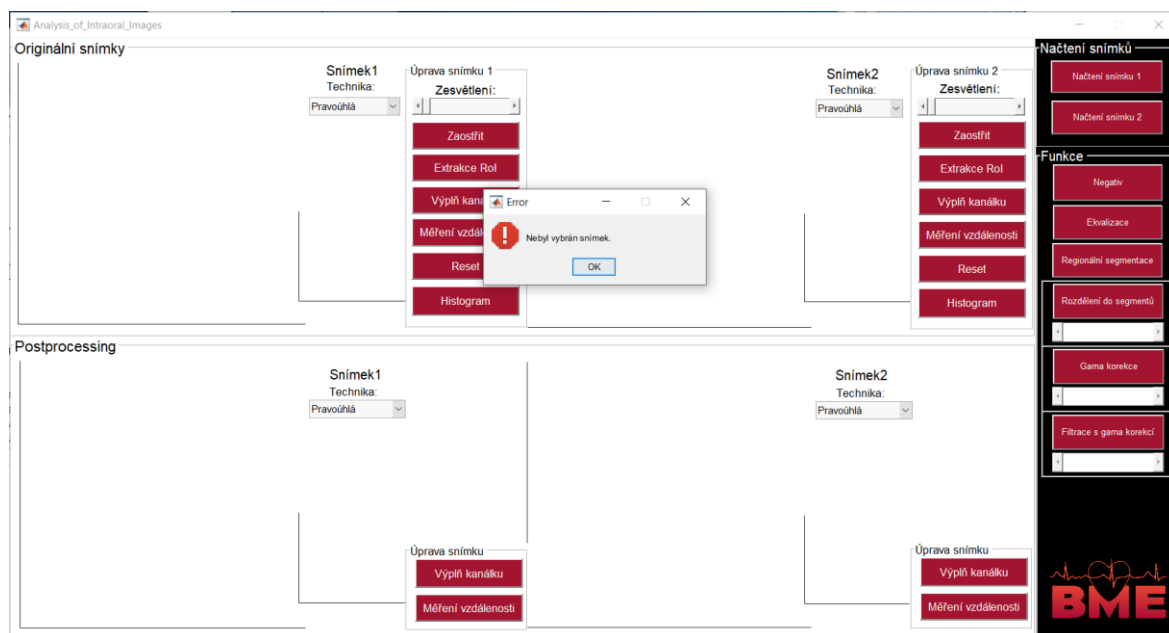
### 2.1.3.1 Načtení snímků

Základem navržené aplikace je načtení snímků do grafického objektu *axes*. Aplikace umožňuje načíst snímek pořízený pravouhlou technikou a snímek pořízený technikou půleného úhlu k jejich následné analýze. Po stisknutí tlačítka se zobrazí dialogové okno pro výběr snímku, zde si uživatel vybere cílový snímek z uložště v počítači. Primárně jsou zobrazeny snímky ve formátu PNG, je umožněn výběr snímků i v jiném formátu. Zvolený snímek je následně zobrazen v aplikaci.



Obr. 2.4 Zobrazení dialogového okna pro výběr snímku

Výběr snímku je zprostředkován příkazem `uigetfile()`. Tento příkaz uloží cílový soubor a cestu, které jsou následně načteny do zvolené proměnné. Obsah proměnné je zobrazen v grafickém objektu *axes*. Pokud uživatel nezvolí cílový snímek, zobrazí se chybová hláška (Obr. 2.5).



Obr. 2.5 Chybové hlášení

Jestliže uživatel potřebuje změnit zobrazený snímek za jiný, lze opětovným stisknutím na tlačítko **Načtení snímku** vybrat nový snímek, který je zobrazen namísto původního.

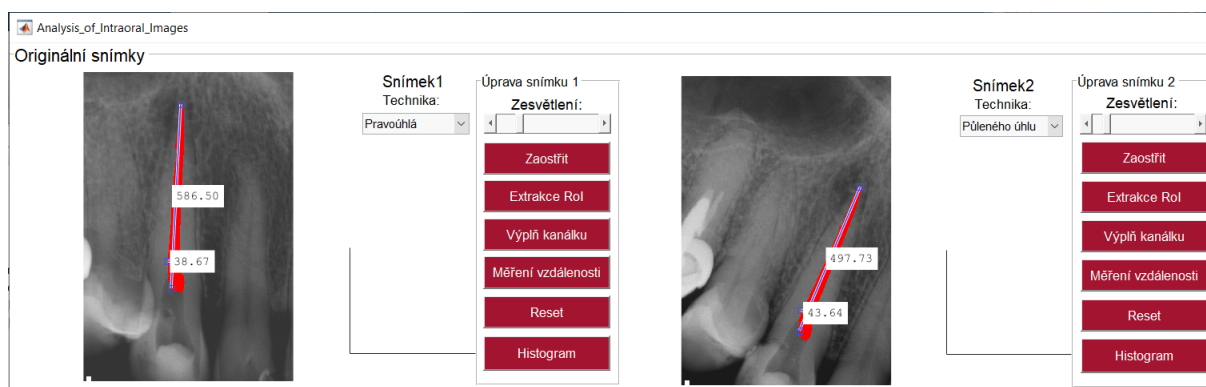
### 2.1.3.2 Úprava snímků

Po načtení snímků lze snímky upravit pomocí tlačítek v bloku Úprava snímku. Snímek lze zesvětlit, kde intenzitu zesvětlení si uživatel určuje sám prostřednictvím posuvníku. Pro zesvětlení byl použit příkaz *imadjust()* s limity kontrastu pro vstupní i výstupní obraz, které mohou nabývat hodnot od 0 do 1.

Dále je možno snímek zaostřit, zde byl využit příkaz *imsharpen()*. Změny nejsou na první pohled patrné, ale je to důležitý krok pro zkvalitnění snímku. Pomocí zaostření může být například zvýrazněn kanálek zubu. Následně je uživateli umožněno extrahovat RoI (Region of Interest) neboli extrahovat oblast zájmu, a to prostřednictvím obdélníkového výběru. Výplň kanálku a měření vzdálenosti je popsáno v další kapitole (Výplň a měření kanálku). Provedené úpravy na snímku lze vrátit zpět pomocí tlačítka **Reset**, kdy se zobrazí originální snímek. Vedle každého snímku se nachází menší grafický objekt *axes*, ve kterém je zobrazen histogram původního snímku.

### 2.1.3.3 Výplň a měření kanálku

Důležitou součástí navrženého grafického uživatelského rozhraní je funkce pro výplň kanálku a měření vzdálenosti. Pro výplň kanálku byla využita segmentace na základě metody aktivních kontur. Nejdříve byla stanovena inicializační kontura, kterou si uživatel zvolí sám pomocí interaktivního mnohoúhelníkového nástroje, v tomto případě uživatel vymezení kanálek zubu. Pro efektivnost je ideální umístit inicializační konturu v blízkosti okolo hranic objektu, obzvláště pro metodu hranové detekce, která byla zde využita. Tato metoda se skládá ze dvou částí, první část se zabývá pravidelností kontury, druhá část se zabývá rozpoznáním hran a formuje kontury k reálným hraničním objektu. Formování je možné pouze z jedné strany. Dochází tak ke stahování inicializační struktury k hraničním objektu. Výsledek této metody je zobrazen v původním snímku jako vyplněný kanálek, u kterého lze snáz změřit jeho délku a šířku. Touto funkcí lze nejlépe pozorovat rozdíl mezi snímky pořízenými dvěma různými technikami [19].

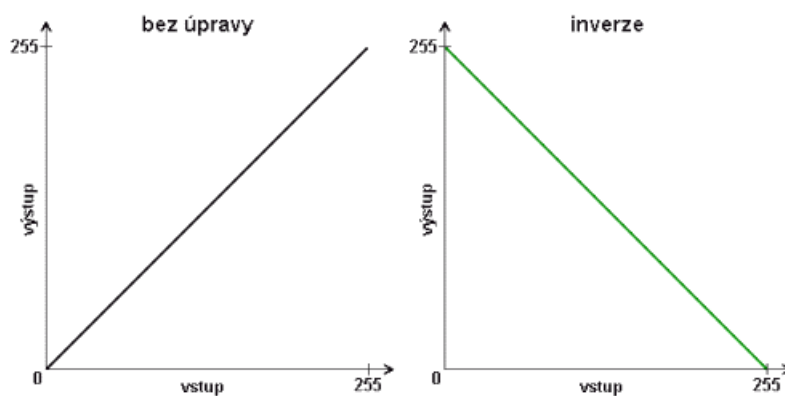


Obr. 2.6 Výplň a měření kanálku

### 2.1.3.4 Negativ

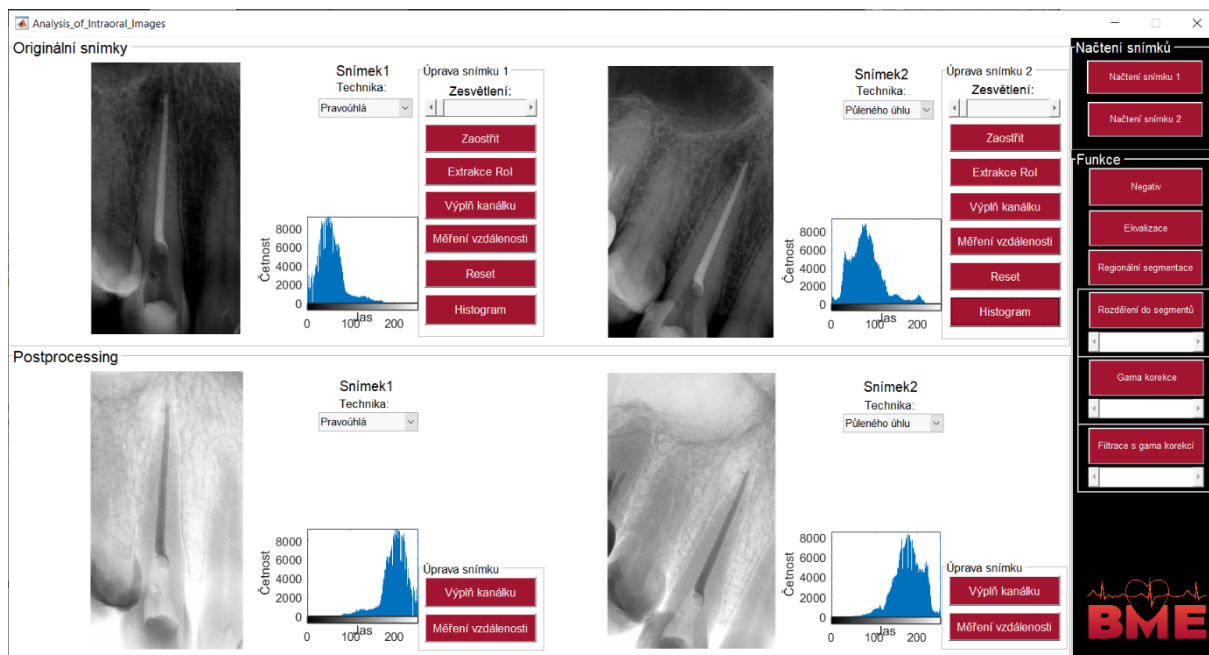
Součástí aplikace je blok Funkce, který slouží k postprocessingu snímků. Zahrnuje jasové transformace, segmentace obrazu a filtrace. Jasové transformace mohou být globální, lokální nebo bodové. Určení, o jakou jasovou transformaci se jedná, závisí na velikosti oblasti, ze které je stanovena hodnota výstupního pixelu. Globální jasová transformace využívá celý obraz pro určení nové hodnoty pixelu. Lokální jasová transformace vypočítává novou hodnotu pixelu z jeho nejbližšího okolí. Bodová transformace, která je využita v této práci, vypočítává novou hodnotu pixelu z téhož pixelu [20].

Jednou z nejjednodušších jasových transformací obrazu je negativ. U negativu je hodnota každého pixelu snímku odečtena od maximální hodnoty pixelů. Pro obrázek ve stupních šedi je maximální hodnota 255. Jedná se tedy o inverzní funkci oproti původní. Negativu lze také dosáhnout inverzí limitu kontrastu vstupního snímku. Ve výsledku se tmavé oblasti stanou světlými a světlé tmavými. U barevných obrázků se červená barva mění na azurovou, zelená na purpurovou, modrá na žlutou a naopak.



*Obr. 2.7 Převodní charakteristika negativu [20]*

Negativ je užitečný pro lepší viditelnost bílých nebo šedých detailů nacházejících se v převážně tmavé oblasti. Dobře lze takto zobrazit například tkáň, které na negativním rentgenovém snímku nejsou tolik čitelné [21].

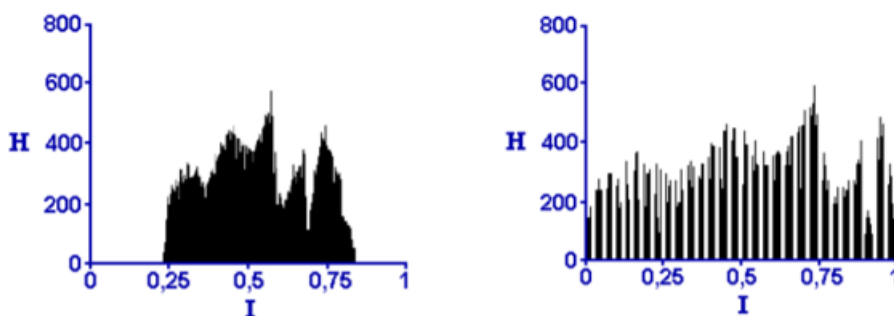


**Obr. 2.8 Negativ snímku**

Histogram negativu oproti histogramu původního snímku je převrácen podle vertikální osy.

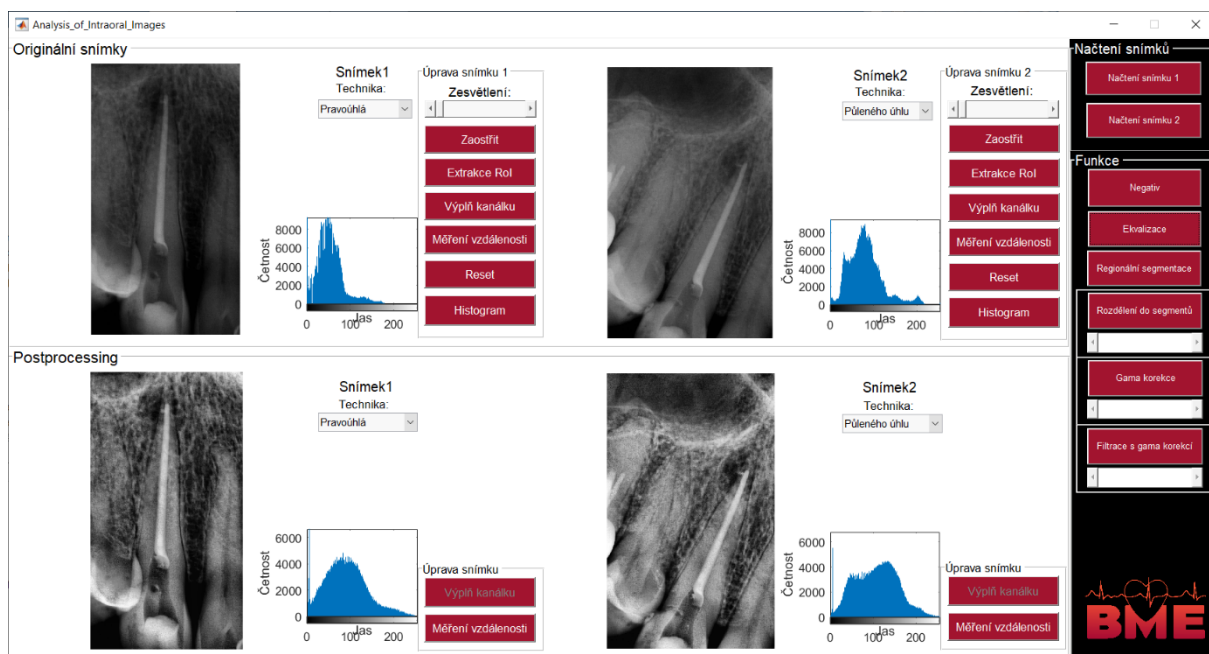
### 2.1.3.5 Ekvalizace

Další jasovou transformací z bloku Funkcí je ekvalizace neboli metoda vyrovnání histogramu. Histogram je grafické zobrazení četnosti výskytu jednotlivých pixelů na dané jasové úrovni. Ekvalizace histogramu transformuje jasovou stupnici tak, aby došlo k rovnoměrnému zastoupení jasových úrovní ve výsledném obrazu. Histogram výstupního obrazu je uniformní na celé jasové úrovni [22].



**Obr. 2.9 Původní histogram a histogram po ekvalizaci [23]**

Na původních rentgenových snímcích jsou jasové rozdíly mezi regiony, a proto byla zvolena adaptivní histogramová ekvalizace neboli CLAHE metoda (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization). Pomocí této metody je obraz nejdříve rozdělen na jednotlivé segmenty, kde je následně pro každý segment vytvořen lokální histogram, na jejichž základě dochází k výsledné ekvalizaci.

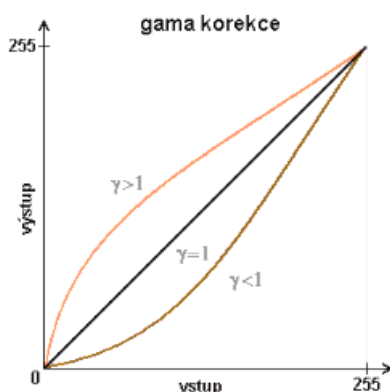


Obr. 2.10 Ekvalizace snímků

Po použití funkce ekvalizace se pro pozorovatele zvýší kontrast snímku a vyniknou přechody mezi jednotlivými objekty v obraze. Je to užitečná metoda pro zvýraznění detailů na snímcích, které jsou podexponované nebo naopak přexponované [20].

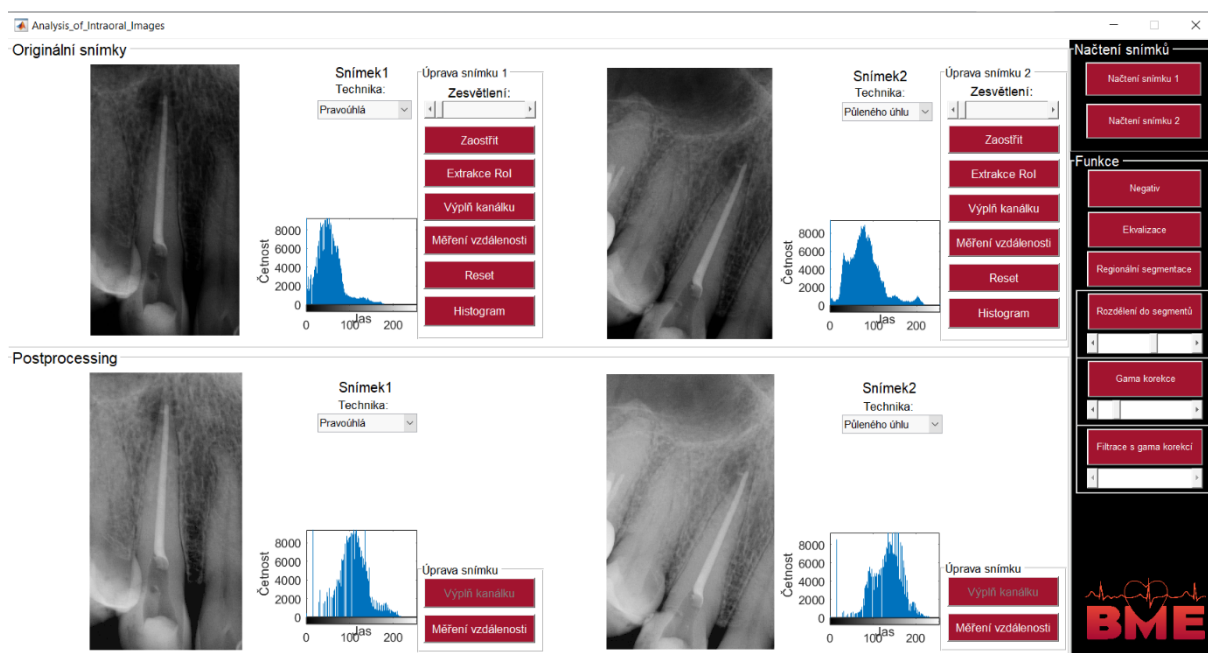
### 2.1.3.6 Gama korekce

Mezi jasové transformace je řazena také gama korekce. Pro gama korekci byla využita funkce *imadjust()*, do které byl navíc přidán faktor určující gama korekci. Gama korekce se využívá pro nelineární změny jasu. Lze pomocí ní upravit střední části rozsahu intenzity. Gama korekce může nabývat hodnot od 0 do nekonečna. Je-li její hodnota rovna 1, pak je hodnota intenzity mezi vstupním a výstupním snímkem lineární. V ostatních případech je nelineární. U funkce *imadjust()* je primárně gama korekce nastavena na hodnotu 1. Pokud je hodnota gama korekce menší než 1, výsledný obraz má vyšší jasovou intenzitu, je jasnější. Nižší intenzitu jasu má výsledný obraz s gama korekcí větší než 1 a ve výsledku je obraz tmavší.



Obr. 2.11 Převodní charakteristika gama korekce [20]

Gama korekce má využití při opravě jasu na obrazovkách, opravuje špatnou expozici snímku, kde oblast zájmu je buď v příliš tmavé, nebo naopak v příliš světlé části snímku. Využívá se pro úpravu osvětlení u rentgenových snímků [20, 24].

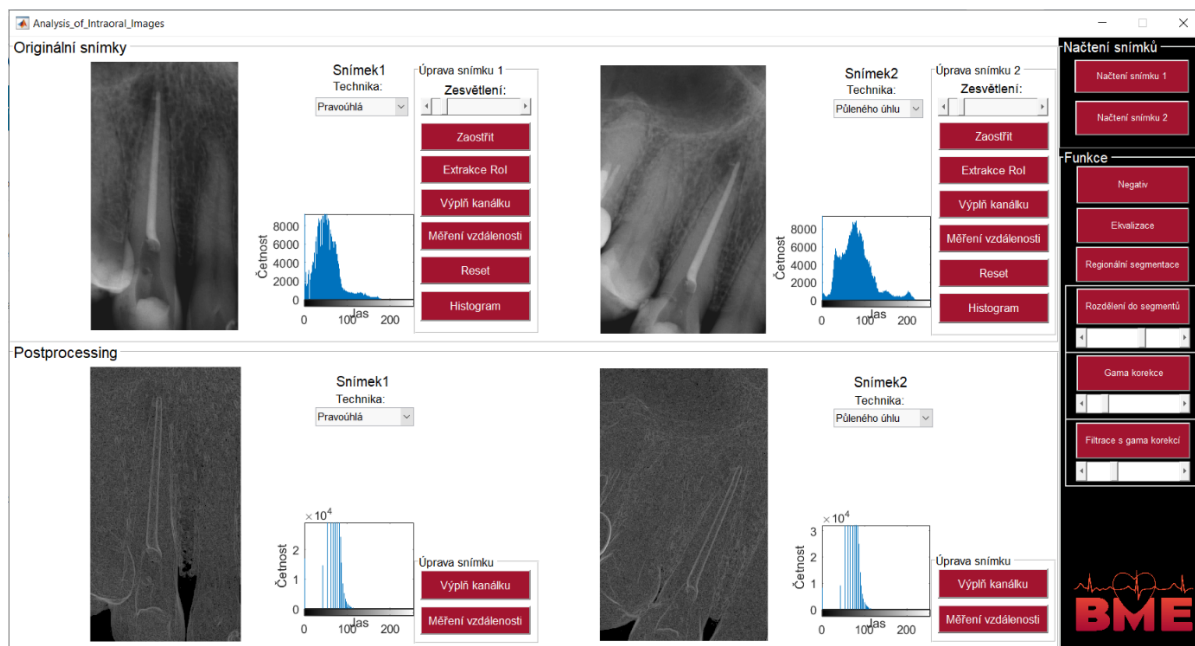


**Obr. 2.12 Gama korekce snímků**

Ve vytvořeném uživatelském rozhraní je umožněno uživateli pomocí posuvníku měnit hodnotu faktoru gama korekce, která je nastavena v dostatečném rozsahu pro snížení i zvýšení jasu snímku, konkrétně lze nastavit hodnoty gama korekce od 0,1 do 2,5.

### 2.1.3.7 Filtrace s gama korekcí

Jedná se o filtraci rozsahu, která byla následně zesvětlena pomocí gama korekce. Zesvětlení si může uživatel regulovat sám pomocí posuvníku, kde v tomto případě je hodnota gama korekce zvolena od 0,1 do 0,9 pro dostatečné zvýšení jasu filtrovaného snímku. Filtrace rozsahu je založena na principu, kde každý výstupní pixel má hodnotu rozsahu. Tento rozsah je vypočten z hodnot sousedních pixelů, odečtením minimální hodnoty od maximální. Sousední pixely, ze kterých je vypočten rozsah, se nacházejí okolo odpovídajícího vstupního pixelu v oblasti 3x3. Filtrací dojde k zviditelnění hran a obrysů na snímku.

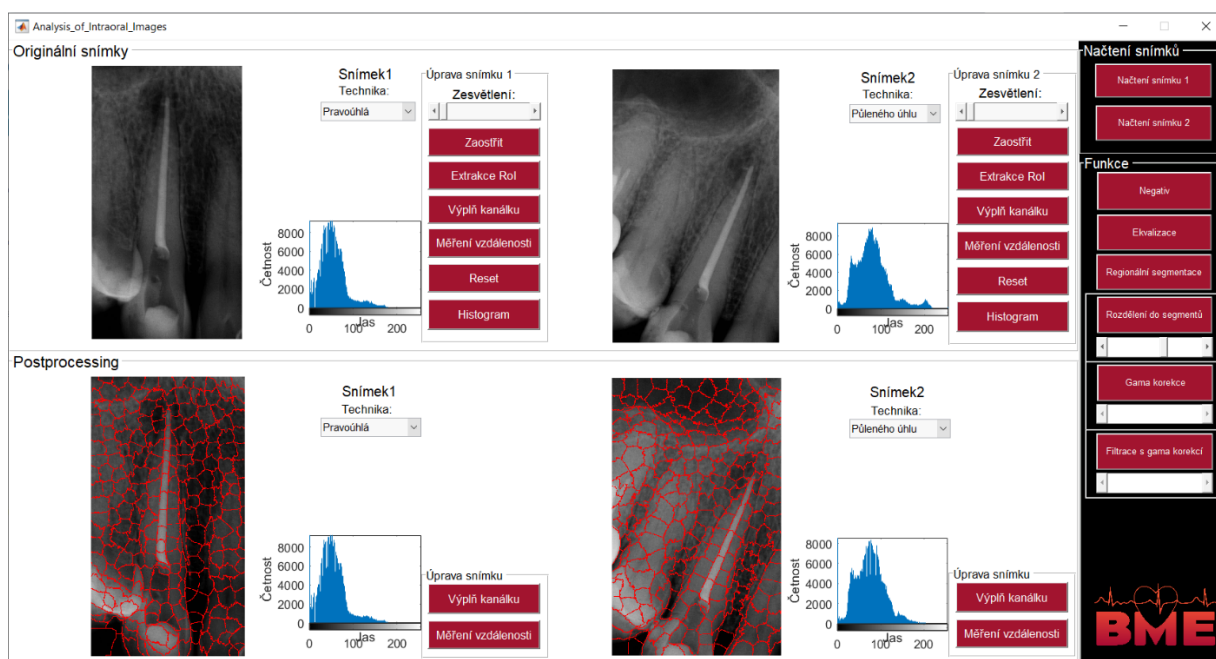


*Obr. 2.13 Filtrace snímků a jejich následné zesvětlení pomocí gama korekce*

### 2.1.3.8 Segmentace

Segmentace slouží k oddělení pixelů nacházejících se v oblasti zájmu od pixelů pozadí. Ve vytvořeném uživatelském rozhraní slouží pro segmentaci obrazu tlačítka **Rozdělení do segmentů** a **Regionální segmentace**.

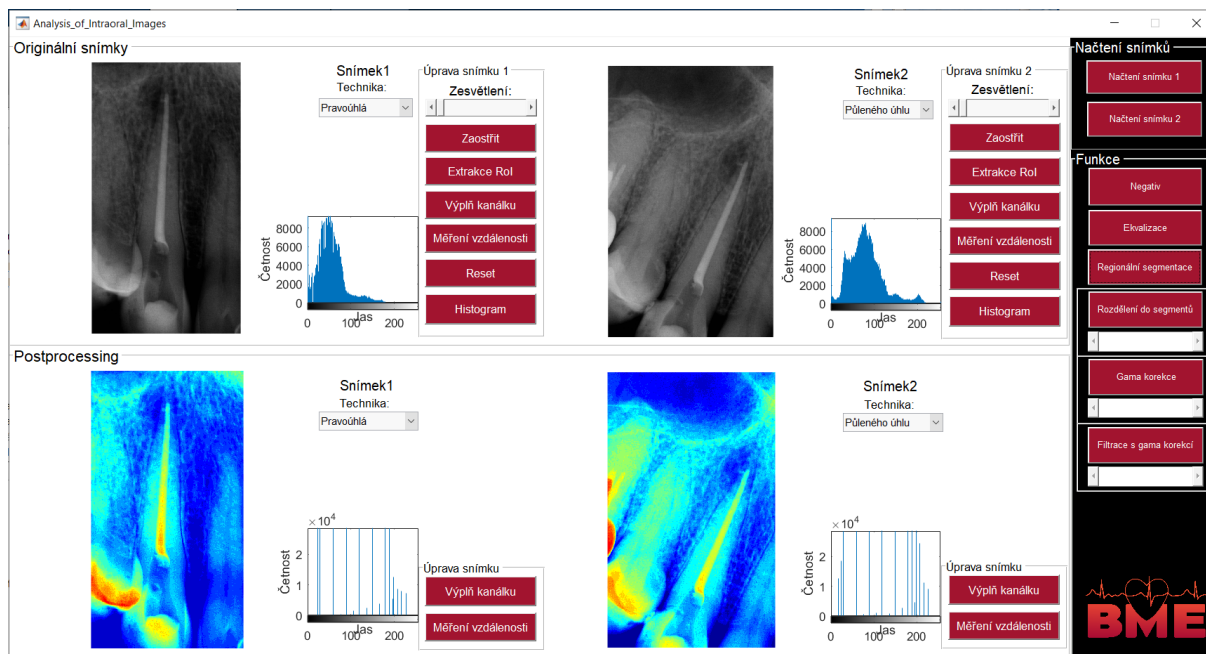
Rozdělení do segmentů využívá pro segmentaci metodu vytvoření super pixelů. Super pixely jsou polygonální části v digitálním obraze, které jsou větší než samotný pixel. Super pixely jsou vykresleny s jednotnou barvou a jasem. Pomocí této metody dojde k rozdělení obrazu do oblastí, ve kterých se nacházejí pixely s podobnou hodnotou. Tyto oblasti jsou následně ohraničeny a zobrazeny v obraze.



*Obr. 2.14 Rozdělení do segmentů*



Regionální segmentace pracuje na základě Otsuovy metody, která provádí automatické prahování. Díky této metodě jsou získány prahové úrovně, pomocí kterých je obraz segmentován do regionů. Segmentačním regionům je ve výsledku přiřazena barva. Ve výsledném snímku jsou mezery a dutiny zobrazeny odstíny modré barvy, plomby a výplně kanálku mají intenzivnější barvu, žlutou až červenou.



Obr. 2.15 Regionální segmentace

## 2.2 Testování a vyhodnocení

Testování vytvořené aplikace pro analýzu intraorálních snímků pořízených dvěma technikami snímkování proběhlo v soukromé stomatologické ordinaci. Pro testování musely být pořízeny snímky téhož zubu u stejných pacientů pomocí pravoúhlé techniky i techniky půleného úhlu, aby bylo možno jejich následné srovnání. Pro testování bylo vybráno sedm pacientů, kterým byl pořízen intraorální snímek zubů oběma technikami pomocí přístroje Heliodent Plus od Densply Sirona. U některých pacientů bylo pořízeno více snímků téhož zubu, např. před a po endodontickém vyšetření. K dispozici pro testování bylo celkově 22 snímků. Při testování byly čtyři snímky vyřazeny z důvodu oříznutí zubu, který nebyl zobrazen celý, obzvláště při snímkování technikou půleného úhlu.

Po načtení snímku je umožněno předzpracování snímků. Díky tomuto kroku lze snímky zaostřit a zesvětlit, což umožňuje lépe extrahovat oblast zájmu. Aplikace dále obsahuje tlačítka s funkcí na výplň kanálku a měření vzdálenosti, což pro porovnání snímků pořízených dvěma různými technikami bylo klíčové. Pomocí měření vzdálenosti uživatel může změřit délku a šířku kanálku každého snímku, a tím lze nejlépe vidět rozdíl mezi snímky. Snímky pořízené pravoúhlou technikou jsou ostré, minimálně zkreslené a nejlépe odpovídají skutečnosti, proto v tomto případě jsou brány jako referenční. Technikou půleného úhlu lze zhotovit snímky zubů vysoké kvality, avšak poloha filmu vůči tubusu není při této technice fixována, z tohoto důvodu výsledné snímky bývají zkreslené.

Pro testování byly využity snímky zubů bez endodontického ošetření i po tomto ošetření, kdy dojde k vyplnění dutiny zubu amalgámem. Snímky s takto ošetřenými zuby byly pro testování nejvhodnější. Obzvláště při metodě vyplnění kanálku a jeho následného měření délky a šířky, kdy uživatel může pozorovat rozdíl mezi jednotlivými snímky. Celkem bylo testováno devět dvojic snímků, z toho šest dvojic snímků bylo pořízeno po endodontickém ošetření.

*Tab. 2.1 Hodnoty měření kanálku u snímků po endodontickém ošetření*

Testovaná skupina	Technika	Délka kanálku (pixel)	Šířka kanálku (pixel)
<b>Skupina 1</b>	Pravouhlá	276,12	21,18
	Půleného úhlu	254,63	22,21
<b>Skupina 2</b>	Pravouhlá	227,54	16,85
	Půleného úhlu	221,65	21,67
<b>Skupina 3</b>	Pravouhlá	553,14	55,92
	Půleného úhlu	503,89	58,04
<b>Skupina 4</b>	Pravouhlá	565,615	37,07
	Půleného úhlu	491,28	41,79
<b>Skupina 5</b>	Pravouhlá	188,61	30,01
	Půleného úhlu	175,36	35,06
<b>Skupina 6</b>	Pravouhlá	264,78	18,75
	Půleného úhlu	254,93	20,83

Tab. 2.1 popisuje naměřené hodnoty délek a šířek kanálků u šesti testovaných skupin snímků. V každé skupině se nachází snímek téhož zubu po endodontickém ošetření zobrazen pomocí pravouhlé techniky a techniky půleného úhlu. U všech snímků bylo provedeno deset měření délky i šířky kanálku. Průměrné hodnoty byly zapsány do tabulky.

*Tab. 2.2 Hodnoty měření kanálku u snímků bez endodontického ošetření*

Testovaná skupina	Technika	Délka kanálku (pixel)	Šířka kanálku (pixel)
<b>Skupina 7</b>	Pravouhlá	601,65	47,04
	Půleného úhlu	537,49	49,78
<b>Skupina 8</b>	Pravouhlá	617,45	28,23
	Půleného úhlu	562,99	31,26
<b>Skupina 9</b>	Pravouhlá	633,56	32,46
	Půleného úhlu	582,96	37

Tab. 2.2 reprezentuje naměřené hodnoty délek a šířek kanálků pro tři testované skupiny snímků zubů, u kterých nebylo vykonáno endodontické ošetření. V každé skupině se nacházejí snímky pořízené oběma technikami snímkování. Hodnoty v tabulce jsou průměrné hodnoty z deseti měření.

Z Tab. 2.1 a Tab. 2.2 je patné, že u snímků pořízených technikou půleného úhlu je ve výsledku zkreslena velikost snímkaného zubu. Ve všech testovaných skupinách byl kanálek zubu na snímcích pořízených technikou půleného úhlu zkrácen a rozšířen oproti snímkům pořízených pravoúhlou technikou, které lze brát za nejvíce odpovídající skutečnosti. Proto byl dále vyhodnocen rozdíl mezi jednotlivými technikami, který byl určen jako rozdíl naměřených hodnot šířek a délek kanálků u snímků téhož zubu pořízených oběma technikami. Výsledná hodnota byla následně podělena celkovým počtem testovaných skupin. Rozdíl byl vypočten pro snímky zubů patřící do skupiny bez endodontického ošetření a po endodontickém ošetření.

*Tab. 2.3 Rozdíl mezi jednotlivými technikami u skupin zubů bez a s endodontickým ošetřením*

Skupiny	Délka kanálku (pixel)	Šířka kanálku (pixel)
<b>Snímky zubů po endodontickém ošetření</b>	29,02	3,33
<b>Snímky zubů bez endodontického ošetření</b>	56,41	3,44

Rozdíl mezi jednotlivými technikami u snímků zubů je vypočten v Tab. 2.3. Testované snímky byly rozděleny do dvou skupin. V jedné skupině byly snímky zubů po endodontickém vyšetření, v druhé snímky zubů bez tohoto ošetření. Rozdíl měření šířky kanálku byl u obou skupin přibližně stejný a činil přes 3 pixely. Při měření délky kanálku je již výrazný rozdíl mezi jednotlivými skupinami. Snímky zubů po endodontickém ošetření měli téměř až 2krát menší rozdíl v měření délky kanálku mezi dvěma intraorálními technikami snímkování než snímky zubů bez endodontického ošetření. Aplikace je tedy vhodnější pro analýzu snímku po endodontickém ošetření, kde lze použít funkci na výplň kanálku a lépe tak určit jeho délku a šířku. Rozdíl mezi snímky pořízenými pravoúhlou technikou a technikou půleného úhlu byl v délce kanálku 29,02 pixelů pro snímky zubů po endodontickém ošetření.

Metoda pro výplň kanálku a jeho následné měření je užitečná obzvláště u analýzy snímku zubů po endodontickém ošetření. Díky této metodě uživatel získá představu o zkreslení snímku pořízeném technikou půleného úhlu oproti snímku pořízeném pravoúhlou technikou. Průměrný rozdíl mezi měřeními u jednotlivých snímků byl v délce kanálku 29,02 pixelů a v šířce 3,33 pixelů. Délka kanálku zubu je ovlivněna polohou zubu a kvalitou pořízeného snímku.

V aplikaci jsou umožněny další obrazové úpravy pro analýzu snímku. Pořízené snímky nejsou vždy ideální, mohou být přeexponované nebo podexponované. Oblast zájmu může být v příliš tmavé části nebo naopak v příliš světlé části, proto je nutné upravit osvětlení rentgenových snímků. K tomu jsou určeny jasové transformace obrazu, jako je negativ, ekvalizace a gama korekce. Pomocí těchto jasových transformací lze zlepšit čitelnost struktury, obzvláště v oblasti apexů zubů, lze zvýraznit kanálek zubů, což umožňuje jeho lepší změření a je umožněno lepšího zhodnocení vykonaného endodontického ošetření.

Využitá rozsahová filtrace dokáže zvýraznit hrany a obrysy na snímku. Při testování byly zvýrazněny obrysy korunek a vyplněných kanálků zubů. U snímků zubů bez endodontického ošetření tato funkce není vhodná. Velmi využívané funkce při testování byly segmentace, obzvláště regionální segmentace, kde je obraz segmentován do regionů. Počet těchto regionů může být zvolen od 2 do 21. Experimentálně testováním byl nastaven počet segmentačních regionů na 18. Každému regionu je ve výsledném obraze přiřazena barva. Pomocí této metody uživatel může rozpoznat změny na zubu a jeho blízkém okolí, například je možno rozpoznat kazy, ale záleží na subjektivním hodnocení každého stomatologa. Další segmentace využívá metodu rozdělení obrazu do super pixelů. Při této metodě si uživatel může zvolit sám pomocí posuvníku počet super pixelů od 10 do 410 s krokem 40. Při této segmentaci vyniknou obzvláště oblasti korunek jednotlivých zubů, ale také kanálek zubu.

## 2.3 Zhodnocení externího specialisty

Pro zhodnocení vyvinuté aplikace a jejího přínosu pro stomatologickou praxi byl požádán o názor přední stomatolog MDDr. Tomáš Buchta, autor mnoha publikací, kongresových prezentací a zejména praktických kurzů zaměřených na endodontické a reendodontické ošetření, postendodontické rekonstrukce, používání kofferdamu, práce s CAD/CAM systémy, kompozitní rekonstrukce ve frontálním úseku a jiné. Dle jeho ústního sdělení: *„Aplikace velmi dobře poslouží k analýze, porovnávání a úpravě snímků pro ty, kteří nedisponují běžným komerčním softwarem pro úpravu rentgenových snímků. Umožňuje veškeré obrazové operace vedoucí ke zvýšení čitelnosti snímků, jako je kontrast, jas, gama korekce, aj. Jádro práce spočívá v rozdílnosti intraorálních snímků pořízených dvěma snímkovacími technikami. Pravoúhlá technika poskytne snímek izometrický, který lépe odpovídá skutečnosti. Technika půleného úhlu poskytne snímek buďto hyper- či hypometrický, objekt je tak méně přesný, snímkování vyžaduje nastavení přesné osy zubu. Aplikace disponuje i některými nastavbovými funkcemi, které u komerčních proprietárních aplikačních softwarů zatím nenajdeme. Jedná se například o funkci superpixely. Praktické využití je diskutabilní, domnívám se, že by mohla tato funkce umožnit zviditelnit některé skryté struktury, které se na snímcích sumují. Závěrem mohu říci, že praktický výstup práce je svým provedením velmi zdařilý. Studentka prokázala dobrou orientaci v problematice zpracování obrazu.“*

### 3 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce byla analýza intraorálních snímků zhotovených pravoúhlou technikou a technikou půleného úhlu. Pro analýzu snímků jsem vytvořila grafické uživatelské rozhraní v programu MATLAB. Grafické uživatelské rozhraní umožňuje načíst dva snímky a jejich obrazové zpracování. V prvním kroku je uživateli umožněno předzpracování snímků, jako je například zesvětlení, zaostření, výběr oblasti zájmu. Důležitou součástí je funkce na výplň kanálku a jeho měření, což poskytuje srovnání jednotlivých snímků. Dále lze snímky jasově transformovat, filtrovat a segmentovat.

Celkem bylo testováno devět dvojic snímků. Testované snímky byly rozděleny na snímky zubů po endodontickém ošetření (šest dvojic) a bez tohoto ošetření (tři dvojice). Ve výsledku byly pro testování vhodnější snímky zubů po endodontickém ošetření. U těchto snímků mohla být využita funkce na výplň kanálku, pomocí které lze následně lépe změřit délku a šířku kanálku. Funkce na výplň kanálku využívá segmentaci na základě metody aktivních kontur. Výsledkem této metody je vyplněný kanálek, který je zobrazen v původním snímku. Vyplněný kanálek lze lépe změřit a určit tak rozdíl mezi jednotlivými technikami. Snímky pořízené pravoúhlou technikou jsou brány za referenční, nejlépe odpovídají skutečnosti na rozdíl od snímků zhotovených technikou půleného úhlu, kde by mělo být patrné zkreslení, což se i testováním potvrdilo. Snímky zubů pořízené technikou půleného úhlu byly zkráceny a rozšířeny. Průměrný rozdíl v délce činil u snímků zubů po endodontickém ošetření 29,02 pixelů a v šířce 3,33 pixelů. U snímků zubů bez endodontického ošetření byl rozdíl obzvlášť v délce, kde dosahoval téměř 2krát větších hodnot, v šířce byl srovnatelný.

Aplikace byla primárně vyvinuta pro výukové účely. Studenti mohou aplikovat vybrané metody postavené na různých principech digitálního zpracování obrazu přímo na medicínská data, v tomto případě na obrazové snímky pořízené intraorální radioviziografií. Kromě edukačního účelu práce objasňuje rozdíl parametrů rentgenového snímku téhož zubu pořízeného dvěma různými snímkovacími technikami. I přes to, že většina intraorálních rentgenových přístrojů automaticky upravuje expoziční parametry dle úhlu rentgenky, tak dochází k jisté disproporci snímků zhotovených v tomto případě pravoúhlou technikou a technikou půleného úhlu. Nepatrný posun pacienta z nastavené osy – zejména u přístrojů, které nemají ovládací prvky umístěné přímo na rentgence, ale na ovládacím panelu – může vést k obrazovým nepřesnostem.

K finální verzi aplikace se vyjádřil přední stomatolog MDDr. Tomáš Buchta, který potvrdil možnost využití aplikace k analýze, porovnání a úpravě snímku vedoucí k zvýšení čitelnosti snímků (jas, gama korekce aj.). Zmiňuje také, že funkce super pixels není součástí komerčních aplikačních softwarů, ale mohla by nalézt využití pro zviditelnění některých skrytých struktur, které se na snímcích sumují.

## LITERATURA

- [1] DARÓS, Pollyana, Vinicius Cavalcanti CARNEIRO, Amanda Pasolini SIQUEIRA a Sergio Lins DE-AZEVEDO-VAZ. *Diagnostic accuracy of 4 intraoral radiographic techniques for misfit detection at the implant abutment joint*. The Journal of Prosthetic Dentistry [online]. 2018, 120(1), 57-64 [cit. 2019-09-30]. DOI: 10.1016/j.prosdent.2017.08.008. ISSN 00223913. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022391317305668>
- [2] AHMAD FAUZI, Azizah. *External Marker in Bisecting-Angle-Technique: A New Approach to Minimize Dental Radiographic Error*. Medicine & Health [online]. 2017, 12(2), 304-311 [cit. 2019-10-01]. DOI: 10.17576/MH.2017.1202.14. ISSN 22895728. Dostupné z: [http://www.medicineandhealthukm.com/sites/medicineandhealthukm.com/files/article/2017/14\\_azizah\\_et\\_al\\_pdf\\_11261.pdf](http://www.medicineandhealthukm.com/sites/medicineandhealthukm.com/files/article/2017/14_azizah_et_al_pdf_11261.pdf)
- [3] KAZZI, D., K. HORNER, A. C. QUALTROUGH, Y. MARTINEZ-BENEYTO a V. E. RUSHTON. *A comparative study of three periapical radiographic techniques for endodontic working length estimation*. International Endodontic Journal [online]. 2007, 40(7), 526-531 [cit. 2019-10-04]. DOI: 10.1111/j.1365-2591.2007.01251.x. ISSN 0143-2885. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2591.2007.01251.x>
- [4] SANGHVI, Shilpi, Ashwin RAO, Karuna YM, Karthik SHETTY a Anupama NAYAK. *Image Distortion of the Roots of Maxillary Deciduous Molars on IOPA's Recorded with Bisecting Angle or a Modified Paralleling Technique*. Biomedical and Pharmacology Journal [online]. 2018, 11(2), 1039-1042 [cit. 2019-10-05]. DOI: 10.13005/bpj/1464. ISSN 09746242. Dostupné z: <http://biomedpharmajournal.org/vol11no2/image-distortion-of-the-roots-of-maxillary-deciduous-molars-on-iopas-recorded-with-bisecting-angle-or-a-modified-paralleling-technique/>
- [5] IKUBO, Masahiro, Takashi KAMIO, Naoya HASHIMOTO, et al. *Comparison of bisecting and parallel intraoral radiography and cone-beam computed tomography for detecting various horizontal angle root fractures*. Oral Radiology [online]. 2015, 31(3), 173-180 [cit. 2019-10-05]. DOI: 10.1007/s11282-015-0201-0. ISSN 0911-6028. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11282-015-0201-0>
- [6] BILHAN, Hakan, Onur GEÇKILI, Selda ARAT BILHAN, Fatih AYÇIÇEK, Berkman ALBAYRAK, Pelin BOZBULUT a Fatma ÜNALAN. *The comparison of the precision of different dental radiographic methods in mandibular peri-implantary measurements: an in vitro study*. Journal of Istanbul University Faculty of Dentistry [online]. 2015, 49(1), 1-9 [cit. 2019-10-06]. DOI: 10.17096/jiufd.55134. ISSN 2149-4592. Dostupné z: <http://eor.istanbul.edu.tr/tr/yazi/10-17096-jiufd-55134-6100590039003900690069004100410062005F0045003100>
- [7] ČIHÁK, Radomír a Miloš GRIM. *Anatomie 2*. 2. upr. a dopl. vyd. Praha: Grada Publishing a.s., 2002. ISBN 80-247-0143-X
- [8] MAZÁNEK, Jiří. *Stomatologie pro dentální hygienistky a zubní instrumentárky*. Praha: Grada Publishing a.s., 2015. ISBN 978-80-247-4865-8.

- [9] MAZÁNEK, Jiří. *Zubní lékařství: pro studující nestomatologických oborů*. Praha: Grada Publishing a.s., 2018. ISBN 978-80-247-5807-7.
- [10] MAZÁNEK, Jiří. *Zubní lékařství: Propedeutika*. Praha: Grada Publishing a. s., 2014. ISBN 978-80-247-3534-4.
- [11] MAZÁNEK, Jiří a František URBAN. *Stomatologické repetitorium*. Praha: Grada Publishing a.s., 2003. ISBN 80-7169-824-5.
- [12] MORNSTEIN, Vojtěch, Ivo HRAZDIRA a Aleš BOUREK. *Lékařská fyzika a informatika: se zaměřením na zubní lékařství*. Brno: Neptun, 2007. ISBN 978-80-86850-02-3.
- [13] KREJČÍ, Přemysl. *Dentální radiologie*. Dotisk 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009. ISBN 80-244-1452-X.
- [14] WEBER, Thomas. *Memorix zubního lékařství*. 2. české vyd. Přeložil Magdalena KOŤOVÁ. Praha: Grada Publishing, 2012. ISBN 978-80-247-3519-1.
- [15] PASLER, Friedrich Anton a Heiko VISSER. *Stomatologická radiologie: Kapesní atlas*. Praha: Grada Publishing, 2007. ISBN 978-80-247-1307-6.
- [16] ČERNOCHOVÁ, Pavlína. *Diagnostika retinovaných zubů*. Praha: Grada, 2006. ISBN 80-247-1269-5.
- [17] KODL, Otto, Alena HERIBANOVÁ a František URBAN. *Radiační ochrana při zubních radiodiagnostických vyšetřeních*. Vyd. 4. Praha: Havlíček Brain Team, 2011. Studijní pomůcky (Česká stomatologická komora). ISBN 978-80-87109-26-7.
- [18] PENHAKER, Marek a Jan KUBÍČEK. *Matematické modelování dat pro vědecké účely*. Opava: Slezská univerzita v Opavě, Filozoficko-přírodovědecká fakulta, Ústav fyziky, 2014. ISBN 978-80-7248-942-8.
- [19] SLONKA, Jakub. *Automatická analýza a modelování terče zrakového nervu z retinálních záznamů* [online]. Ostrava, 2018 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/128667>. Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [20] HORÁK, Karel. *Cvičení 4 – Jasové transformace*. In: *Multimediální interaktivní didaktický systém* [online]. Computer Vision Group, 2010 [cit. 2020-04-12]. Dostupné z: [http://midas.uamt.feec.vutbr.cz/ZVS/Exercise04/content\\_cz.php](http://midas.uamt.feec.vutbr.cz/ZVS/Exercise04/content_cz.php)
- [21] GONZALEZ, Rafael C., Richard E. WOODS a Steven L. EDDINS. *Digital Image processing using MATLAB*. 2nd ed. Natick: Gatesmark Publishing, 2009. ISBN 978-0-9820854-0-0.
- [22] HORÁK, Karel. *Jasové transformace*. In: *Multimediální interaktivní didaktický systém* [online]. Computer Vision Group, 2010 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: [http://midas.uamt.feec.vutbr.cz/ZVS/Lectures/05\\_Jasove\\_transformace.pdf](http://midas.uamt.feec.vutbr.cz/ZVS/Lectures/05_Jasove_transformace.pdf)
- [23] PAVELEK, Milan, Eva JANOTKOVÁ a Josef ŠTĚTINA. *Vizualizační a optické měřicí metody: 15.8 Histogram a ekvalizace* [online]. Vysoké učení technické v Brně, 2007 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://eu.fme.vutbr.cz/file/vomm/1508.htm>
- [24] DOBEŠ, Michal. *Zpracování obrazu a algoritmy v C#*. Praha: BEN – technická literatura, 2008. ISBN 978-80-7300-233-6.

## SEZNAM PŘÍLOH

<b>Příloha I</b>	Návod k použití aplikace	1 str.
<b>Příloha II</b>	Aplikace pro analýzu intraorálních snímků	Příloha v IS EDISON
<b>Příloha III</b>	Navržené GUI v programu MATLAB	Příloha v IS EDISON
<b>Příloha IV</b>	Kód navržené aplikace v programu MATLAB	Příloha v IS EDISON
<b>Příloha V</b>	Logo BME pro načtení do aplikace	Příloha v IS EDISON
<b>Příloha VI</b>	Logo při spuštění aplikace	Příloha v IS EDISON



## Příloha I Návod k použití aplikace

Po spuštění aplikace *Analysis\_of\_Intraoral\_Images.exe* je nutno načíst snímky. Aplikace umožňuje načíst snímek zhotovený pravoúhlou technikou a snímek pořízený technikou půleného úhlu pro jejich analýzu. Po stisknutí na tlačítko **Načíst snímek 1** se zobrazí dialogové okno pro výběr snímku, zde si uživatel vybere cílový snímek z uložistiště v počítači. Primárně jsou zobrazeny snímky ve formátu PNG, je umožněn výběr i v jiném formátu. Po zvolení je snímek zobrazen v aplikaci. Stejným způsobem uživatel načte i druhý snímek. Jestliže uživatel potřebuje změnit zobrazený snímek, lze opětovným stisknutím na tlačítko **Načtení snímku** vybrat snímek nový, který je zobrazen namísto předchozího. Pro označení snímku uživatel vybere z popup menu techniku, kterou byl snímek pořízen.

Následně může být snímek upraven pomocí tlačítek a posuvníku v bloku Úprava snímku. Snímek je možno zesvětlit pomocí posuvníku, pomocí tlačítek zaostřit a extrahovat oblast zájmu prostřednictvím obdélníkového výběru. Tlačítkem **Výplň kanálku** je zobrazen interaktivní nástroj, kdy uživatel ohraničí obrys kanálku, dvojklikem relaci ukončí a ve snímku se zobrazí vyplněný kanálek. Ten lze následně změřit kliknutím na tlačítko **Měření vzdálenosti**, kdy se zobrazí měřicí nástroj, který má svou vlastní nabídku vlastností. Po kliknutí pravým tlačítkem myši na tento nástroj se zobrazí nabídka, ve které si uživatel může změnit, zda má být ukázán štítek s naměřenou vzdáleností, barvu měřicí čáry, zda omezí měření pouze na vertikální nebo horizontální směr anebo může vymazat celý měřicí nástroj. **Měřením vzdálenosti** může být změřena délka kanálku. Pro změření šířky je potřeba znovu zobrazit měřicí nástroj kliknutím na tlačítko **Měření vzdálenosti**. Tlačítkem **Reset** je zobrazen původní snímek bez úprav. Poslední funkcí je zobrazen histogram původního snímku.

Dále aplikace obsahuje blok Funkce, zde se nachází funkce pro jasovou transformaci: negativ, ekvalizace a gama korekce. U gama korekce je umožněno pomocí posuvníku měnit hodnotu zvýšení nebo snížení jasu (nastavitelná hodnota gama korekce je od 0,1 do 2,5). Další funkcí je **Filtrace s gama korekcí**, po jejíž použití dojde k zviditelnění hran. Zde se také nachází posuvník pro zvýšení jasu filtrovaného snímku (nastavitelná hodnota od 0,1 do 0,9). Ostatní funkce slouží k rozdělení obrazu do segmentů. **Regionální segmentace** rozdělí obraz na regiony a těm přiřadí barvu. **Rozdělení do segmentů** rozdělí obraz na super pixely neboli oblasti s jednotnou barvou a jasnem. Počet těchto oblastí si uživatel může navolit sám pomocí posuvníku (nastavitelná hodnota je od 10 do 410 s krokem 40). Po stisknutí tlačítka z bloku Funkcí se zobrazí současně oba upravené snímky pod původní i se zobrazením histogramu. Vedle těchto histogramů se nacházejí dvě tlačítka jedno na výplň kanálku a druhé na měření vzdálenosti, které lze provést v některých případech i u snímku po úpravě z bloku Funkcí. Je-li v původních snímcích provedeno měření a je zobrazen měřicí nástroj, je nutno tento měřicí nástroj vymazat, aby bylo umožněno zobrazení upravených snímků po stisknutí tlačítek z bloku Funkcí.